



TUGAS AKHIR - MO141326

**ANALISIS PERPANJANGAN UMUR OPERASI BEKAPAI FS
FLARE TRIPOD PLATFORM MENGGUNAKAN MEKANIKA
KEPECAHAN METODE LINEAR ELASTIS DENGAN RETAK
SEMI ELIP**

Rizky Wahyu Satria

NRP 4312100111

Dosen Pembimbing:

Nur Syahroni, S.T., M.T. Ph.D

Ir. Handyanu, M.Sc Ph.D

Jurusan Teknik Kelautan

Fakultas Tekonolgi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2016



FINAL PROJECT - MO141326

**LIFE EXTENSION ANALYSIS OF BEKAPAI FS TRIPOD
FLARE PLATFORM USING LINEAR ELASTIC
FRACTURE MECHANICS METHOD WITH SEMI
ELLIPTICAL CRACK**

Rizky Wahyu Satria

NRP 4312100111

Supervisors:

Nur Syahroni, S.T., M.T. Ph.D

Ir. Handayanu, M.Sc Ph.D

Department of Ocean Engineering

Faculty of Marine Technology

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2016

**ANALISIS PERPANJANGAN UMUR OPERASI BEKAPAI FS FLARE TRIPOD
PLATFORM MENGGUNAKAN MEKANIKA KEPECAHAN METODE
LINEAR ELASTATIC RETAK SEMI ELIP**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

RIZKY WAHYU SATRIA

NRP. 4312 100 111

Disetujui oleh :

1. Nur Syahroni, ST., M.T., Ph.D (Pembimbing 1)

2. Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D (Pembimbing 2)

3. Dr. Eng. Muhammad Zikra, S.T., M.Sc. (Penguji 1)

4. Ir. Wisnu Wardhana, S.E., M.Sc., Ph.D (Penguji 2)

5. Kriyo Sambodho, S.T., M.T., Ph.D (Penguji 3)

SURABAYA, JULI 2016

ANALISIS PERPANJANGAN UMUR OPERASI BEKAPAI FS FLARE TRIPOD PLATFORM MENGGUNAKAN MEKANIKA KEPECAHAN METODE LINEAR ELASTIC DENGAN RETAK SEMI ELIP

Nama : Rizky Wahyu Satria
NRP : 4312100111
Jurusan : Teknik Kelautan FTK – ITS
Dosen Pembimbing : Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D
Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D

Abstrak

Salah satu struktur yang biasa digunakan pada bangunan lepas pantai adalah struktur tetap atau disebut *fixed platform*. Platform tersebut didesain untuk menahan beban-beban yang mengenainya untuk mengoperasikan fungsi *platformnya*. Namun, akibat beban siklis yang secara terus menerus diterima mengakibatkan terjadinya *fatigue*. Beban yang diterima bangunan laut didominasi oleh beban gelombang sehingga menyebabkan bangunan laut lebih cenderung mengalami kelelahan, selain itu faktor operasi pada tingkat tertentu menambah beban siklis sehingga struktur menjadi bertambah kritis. Tugas akhir ini membahas tentang analisa perpanjangan umur *fixed platform* FS Bekapai yang beroperasi di wilayah timur delta Sungai Mahakam, sebelah utara Balikpapan, Kalimantan Timur menggunakan mekanika kepecahan. Analisa dilakukan dengan memodelkan retak pada struktur dan dengan *increment crack growth* sebesar 0,5 mm. Pemodelan dan analisis numerik global menggunakan perangkat lunak SACS 5.6, sedangkan pemodelan dan analisis numerik lokal menggunakan ANSYS 16.2. Perhitungan *cumulative damage* menggunakan Teori spectral dan metode S-N curve berdasarkan hukum kegagalan Palmgren Milner. Hasil perhitungan *cumulative damage* dibandingkan dengan hasil perhitungan umur kelelahan dari Mekanika Kepecahan. Dari hasil perhitungan *cumulative damage* didapatkan umur kelelahan bernilai 196 tahun, sedangkan dari perhitungan mekanika kepecahan secara analitikal didapatkan umur kelelahan 78 tahun dan secara numeric didapatkan 83 tahun. Selisih umur kelelahan struktur apabila terjadi keretakan bernilai 113 tahun. Dari perbandingan hasil perhitungan umur kelelahan, dapat disimpulkan bahwa dengan adanya retak mengakibatkan umur kelelahan berkurang signifikan.

Kata Kunci: *Fixed Platform, Cumulative Damage, Mekanika Kepecahan, Increment Crack Growth*

**ANALYSIS OF LIFE EXTENSION FLARE BRKAPAI FS TRIPOD
PLATFORM USING LINEAR ELASTIC FRACTURE MECHANICS METHOD
WITH SEMI ELIPTICAL CRACK**

Name : Rizky Wahyu Satria
Reg. Number : 4312100111
Department : Teknik Kelautan FTK – ITS
Supervisors : Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D
Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D

Abstract

Fixed Platform is one of structure that commonly used in offshore structure. This platform is designed to withstand the loads in operation stage. However, due to cyclic dominated by a sea wave loads causing fatigue in offshore structure. This final project is to determine life extension analysis FS Bekapai fixed platforms located in east Mahakam River, Northern of Balikpapan, East Kalimantan using fracture mechanics. The analysis is carried out by modeling the crack in the structure with crack growth increments of 0.5 mm. Global modeling and numerical analysis using software SACS 5.6 and local modeling and numerical analysis using ANSYS 16.2. Calculation of cumulative damage using spectral theory and methods of S-N curve based on the law of failure Palmgren Milners. The result of cumulative damage compared with the results of Fracture Mechanics. From the cumulaltive damage calculation results obtained fatigue life is 196 years, while the calculation of the fracture mechanics in analytical obtained fatigue life 78 years and in numeric obtained 83 years. The difference between cumulative damage and fracture mechanic result is 113 years. From the comparison of the results of the calculation of the fatigue life, it can be concluded that the presence of cracks resulting in significantly reduced fatigue life.

Keywords: Fixed Platform, Cumulative Damage, Fracture Mechanics, Increment Crack Growth

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR.....	vi
UCAPAN TERIMA KASIH.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	5
2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.2 Dasar Teori.....	6
2.2.1 Struktur Tetap Jacket Platform.....	6
2.2.2 Beban Pada Struktur	7
2.2.3 Analisa Fatigue	8
2.2.4 Mekanika Kepecahan	11
2.2.5 Stress Intensity Factor	12
2.2.6 Stress Intensity Factor dari persamaan Irwin	13
2.2.7 Stress Intensity Factor dari Persamaan Retak Semi Elip	15
2.2.8 Stress Intensity Factor dari Persamaan Through-Thickness Crack..	16
2.2.9 Fracture Toughness (K_{Ic}).....	17
2.2.10 Perambatan Retak.....	18

viii

2.2.11	Kedalaman Retak kritis	19
2.2.12	Analisa Umur Kelelahan Struktur	19
2.2.13	Pemodelan Menggunakan Metode Elemen Hingga	20
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		21
3.1	Langkah Kerja	21
3.2	Penjelasan Diagram Alir.....	24
3.2.1	Perumusan Masalah.....	24
3.2.2	Studi Literatur dan Pengumpulan Data	24
3.2.3	Pemodelan Global Struktur Jacktet	25
3.2.4	Validasi Model.....	25
3.2.5	Analisa In-Place Struktur	25
3.2.6	Analisa Dinamik Periode Natural	25
3.2.7	Perhitungan Umur Kelelahan Tanpa Retak	25
3.2.8	Pemodelan Lokal Join Kritis	25
3.2.9	Penentuan Hot Spot Stress dan Meshing Sensitivity	25
3.2.10	Penentuan Titik Acuan Retak	26
3.2.11	Validasi Titik Acuan Retak	26
3.2.12	Menghitung Kedalaman Retak Kritis.....	26
3.2.13	Pemodelan Retak Semi Elip	26
3.2.14	Perhitungan SIF/Parameter K.....	26
3.2.15	Perhitungan perambatan retak	26
3.2.16	Menghitung & Menganalisis Umur Kelelahan	26
3.2.17	Kesimpulan & Laporan	27
3.3	Data Struktur	27
BAB 4 ANALISA DAN PEMBAHASAN		32
4.1	Pemodelan Struktur	32
4.2	Analisa <i>Inplace</i>	34
4.3	Periode Natural	34
4.4	Analisa Fatigue Cumulative Damage	35
4.5	Pemodelan Joint Kritis	37
4.6	Meshing Joint Kritis	38
4.7	Kondisi Batas dan Pembebanan	39

4.8	Posisi Retak	40
4.9	Meshing Sensitivity	41
4.10	Penentuan Titik Retak	42
4.11	Perhitungan Kedalaman Kritis	45
4.12	Perhitungan SIF.....	46
4.13	Perhitungan Laju Perambatan Retak Numerik	49
4.14	Perhitungan Umur Struktur hasil Numerik ANSYS	50
4.15	Perhitungan Laju Perambatan Retak Analitikal.....	51
4.16	Perhitungan Umur Kelelahan Secara Analytical	52
4.17	Perbandingan Hasil Perhitungan Umur Kelelahan Joint Tanpa Retak dengan Joint Memiliki Retak	54
BAB 5 KESIMPULAN & SARAN		55
5.1	Kesimpulan.....	55
5.2	Saran	55
DAFTAR PUSTAKA.....		57

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Peta Lokasi Bekapai Field.....	1
Gambar 1.2 Parameter <i>tubular joint</i> (API RP2A-WSD 21 st Edition)	2
Gambar 2.1 Kurva S-N.....	9
Gambar 2.2 Tiga mode deformasi retak	12
Gambar 2.3 Ilustrasi Retak Semi Elip.....	15
Gambar 2.4 Grafik Perbandingan $a/2c$ dan σ/σ_{ys}	15
Gambar 2.5 Ilustrasi Retak Through thickness.....	16
Gambar 2.6 Kurva Fracture Toughness	17
Gambar 2.7. Kurva perambatan retak	18
Gambar 3.1. Diagram alir pengerjaan tugas akhir.....	21
Gambar 3.2 Orientasi Arah Platform	27
Gambar 3.3 Model Platform.....	28
Gambar 3.4 Platform di selat makasar	28
Gambar 4.1. Model struktur dalam SACS	33
Gambar 4.2 Posisi COG data report	34
Gambar 4.3 Posisi COG hasil modeling.....	34
Gambar 4.4 Posisi member kritis	37
Gambar 4.5. Multiplanar joint	37
Gambar 4.6 Pemodelan lokal joint kritis	38
Gambar 4.7. Hasil meshing joint kritis	39
Gambar 4.8 Fixed support pada chord	39
Gambar 4.9 Pembebanan dan Kondisi Batas.....	40
Gambar 4.10 Pembebanan dan Kondisi Batas	40
Gambar 4.11 Letak Hot spot stress kondisi maksimum.....	41
Gambar 4.12 Letak Hot spot stress kondisi minimum.....	41
Gambar 4.13 Kurva Meshing Sensitivity.....	42
Gambar 4.14 Titik Acuan beserta Teganganya	43

Gambar 4.15 Model retak tiap titik acuan	44
Gambar 4.16 Meshing Model retak tiap titik acuan	44
Gambar 4.17 Gravitik parameter Q	45
Gambar 4.18 Laju Perambatan Retak.....	52

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Data Muka Air Rata-Rata.	28
Tabel 3.2 Data Angin.....	29
Tabel 3.3 Data Gelombang	29
Tabel 3.4 Data Sebaran Gelombang	29
Tabel 3.5 Ketebalan Marine Growth	30
Tabel 3.6 Koefisien Hidrodinamika	30
Tabel 3.7 Beban Topside.....	30
Tabel 3.8 Data Material.....	31
Tabel 3.9 Dimensi Retak.....	31
Tabel 3.10 Daya dukung tanah.....	31
Tabel 4.1 Validasi Berat Struktur	33
Tabel 4.2 Validasi COG Struktur	34
Tabel 4.3 Unity Check Joint	35
Tabel 4.4 Periode Natural	35
Tabel 4.5 Umur Kelelahan Joint Kritis	36
Tabel 4.6 Umur Kelelahan Dalam Cycle.....	36
Tabel 4.7 Dimensi Member Joint Yang Ditinjau	38
Tabel 4.8 Pembebanan Minimum Tiap Member	40
Tabel 4.9 Pembebanan Maksimum Tiap Member	40
Tabel 4.10 Meshing Sensitivity	42
Tabel 4.11 Koordinat Titik Acuan	43
Tabel 4.12 Tegangan Tiap Titik Acuan	43
Tabel 4.13 SIF Tiap Titik Acuan.....	45
Tabel 4.14 Validasi Titik Acuan	45
Tabel 4.15 Hasil Sif Numerik Ansys	46
Tabel 4.16 Hasil Sif Analitikal	48
Tabel 4.17 Hasil Perhitungan Laju Rambat Retak.....	49
Tabel 4.18 Hasil Perhitungan Umur Numerik.....	50
Tabel 4.19 Hasil Perhitungan Laju Rambat Retak	51
Tabel 4.20 Perhitungan Umur Analitikal.....	53
Tabel 4.21 Perbandingan Hasil	54

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Bekapai adalah ladang minyak dan gas tertua yang dikelola PT TOTAL E&P Indonesia. Lokasi ini berjarak 15 kilometer di wilayah timur delta Sungai Mahakam atau 42 kilometer dari terminal migas Senipah, sebelah utara Balikpapan, Kalimantan Timur. Pada area Bekapai terdapat beberapa jenis platform dengan masing-masing fungsinya. Salah satunya adalah Flare Platform. Flare platform berguna untuk membakar gas berbahaya yang tidak diinginkan selama proses produksi sehingga mengurangi tekanan di dalam sumur pengeboran. Bekapai FS Flare Platform terletak pada koordinat 0°59' 53.6" LS dan 117° 29' 49.6" BT (terlihat pada Gambar 1.1). Bekapai FS platform memiliki tiga kaki jacket dan dipasang pada tahun 1974. Platform ini menyokong tower flare dan terhubung dengan BP platform production.

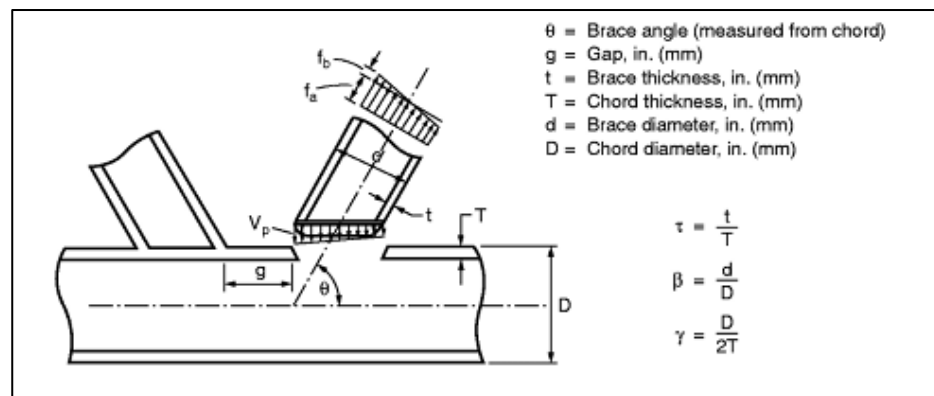


Gambar 1.1 Peta Lokasi Bekapai Field

(Sumber: Website TOTAL, 2012)

Pada awalnya, platform didesain memiliki umur 40 tahun (terhitung dari 1974) dan ladang minyak ini sempat akan ditutup dikarenakan produksinya terus menurun, namun akhirnya tetap dibiarkan beroperasi hingga pada tahun 2017 ini akan dikelola secara mandiri oleh PT. Pertamina. Oleh karena itu, dengan umur struktur yang sudah mencapai 42 tahun pada 2016 ini, perlu dilakukan analisa perpanjangan umur struktur. Platform ini akan diperpanjang umur operasinya selama 20 tahun. Dengan usia yang sudah melebihi umur desain, tentu platform ini mengalami kelelahan. Kelelahan / *fatigue* dalam konteks teknologi adalah salah satu penyebab kegagalan struktur yang ditandai munculnya retak akibat beban siklik. Berawal dari retak awal terjadi perambatan retak dan akhirnya mengalami *final fracture*. *Fatigue* menyerang berbagai material dalam berbagai jenis struktur. Salah satu material yang rentan terkena *fatigue*

adalah baja, dikarenakan karakteristik baja yang ringan tapi kuat jika dibandingkan dengan beton. Bagian *jacket* pada platform tersusun atas material baja berbentuk silinder (*tubular*) dengan bagian utama yang disebut *chord* dan cabangnya yaitu *brace*. Keduanya dihubungkan dengan las lasan yang disebut sambungan tubular atau *tubular joint*. Sambungan tubular menurut API WSD 21st Edition tersusun atas *brace* dan *chord* dengan konfigurasi sebagaimana Gambar 1.2 berikut:



Gambar 1.2 Parameter *tubular joint*

(Sumber: API RP2A-WSD 21st Edition, 2000)

Pada *tubular joint* terkena pembebanan, baik statis maupun dinamis secara terus menerus mengakibatkan adanya konsentrasi tegangan. Akibat beban tersebut struktur mengalami keretakan, dan seiring berjalanya waktu akan terjadi perambatan retak dan kekuatan struktur akan berkurang. Kekuatan ini akan terus berkurang hingga kondisi dimana tubular tidak mampu menerima *crack* yang terjadi. Hal ini sangat penting untuk diperhatikan karena akan berpengaruh pada umur dari struktur. Ada beberapa metode pendekatan dalam menentukan umur kelelahan, yaitu *cumulative damage* (*S-N curve*, *probabilistic*, *Palgren-Milner's Rule*) dan *fracture mechanics*.

Tugas akhir ini menganalisa umur kelelahan pada Bekapai FS platform menggunakan Metode *Linear Elastic Fracture Mechanic*. Diawali dengan analisa secara global menggunakan metode *cumulative damage* dan akan didapatkan umur kelelahan tiap joint. Joint yang memiliki umur kelelahan paling sedikit akan dianalisa secara lokal. Analisa lokal menggunakan mekanika kepecahan. Dengan konsep ini didapatkan besar Stress Intensity Factor dan besarnya perambatan retak yang nantinya akan digunakan untuk mengetahui umur struktur tersebut. Hasil perhitungan umur kelelahan metode *cumulative damage* akan dibandingkan dengan metode mekanika kepecahan. Jika hasilnya memenuhi umur desain, maka perpanjangan umur dapat diterima.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang di bahas pada penelitian tugas akhir ini adalah

1. Berapa umur kelelahan *tubular joint* kritis tersebut tanpa retak menggunakan metode *cumulative damage*?
2. Berapa umur kelelahan *tubular joint* kritis tersebut dengan variasi retak semi elip menggunakan metode mekanika kepecahan?
3. Bagaimana perbandingan umur kelelahan *tubular joint* tanpa retak dengan *tubular joint* yang memiliki retak semi elip?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan yang dicapai dalam penelitian tugas akhir ini adalah

1. Mengetahui umur kelelahan *tubular joint* kritis tersebut tanpa retak menggunakan metode *cumulative damage*.
2. Mengetahui umur kelelahan *tubular joint* kritis dengan variasi retak semi elip menggunakan metode mekanika kepecahan.
3. Mengetahui perbandingan umur kelelahan *tubular joint* tanpa retak dengan *tubular joint* yang memiliki retak semi elip.

1.4 Manfaat

Dari pengerjaan tugas akhir ini akan dapat diketahui umur kelelahan pada *tubular* tanpa retak menggunakan *cumulative damage* dan dengan retak menggunakan Mekanika Kepecahan. Sehingga apabila umur yang dihasilkan melebihi design life yang dikehendaki, maka perpanjangan umur desain dapat diterima.

1.5 Batasan Masalah

Untuk memfokuskan ruang lingkup dari permasalahan yang telah dijabarkan di atas, maka permasalahan akan dibatasi pada hal-hal berikut:

1. Input pembebanan pada kondisi operasi
2. Mode pembebanan dalam menentukan SIF menggunakan mode I.
3. Penelitian dilakukan pada daerah sambungan *tubular (local analysis)*.
4. Sambungan jembatan yang menghubungkan ke struktur BP production diabaikan
5. Beban dalam analisa lokal menggunakan data sebaran gelombang dominan
6. Pemodelan dan analisa retak dilakukan sebatas kemampuan software ANSYS

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam tugas akhir ini sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Dalam bab ini, menjelaskan tentang hal apa saja yang melatarbelakangi sehingga studi tentang fracture mechanic ini dilakukan, permasalahan apa yang akan dibahas, tujuan yang ingin dicapai, manfaat yang diperoleh dari studi ini, batasan-batasan masalah yang diterapkan, dan sistematika penulisan yang digunakan dalam tugas akhir ini.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Selama proses pengerjaan dan penyelesaian tugas akhir ini, penulis menggunakan dasar-dasar teori, berbagai macam persamaan dan rumus, sehingga dalam bab ini akan dicantumkan hal-hal tersebut sebagai tinjauan pustaka.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini lebih menguraikan tentang tahapan-tahapan dan metode yang digunakan untuk mengerjakan tugas akhir ini.

BAB 4 ANALISIS DAN HASIL PEMBAHASAN

Pada bab ini membahas bagaimana untuk menyelesaikan permasalahan yang diangkat dalam tugas akhir ini. Selain itu, validasi, analisis, pengolahan, dan pembahasan data hasil dari *output* hasil *running software* juga akan dibahas pada bab ini.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi kesimpulan dari tugas akhir, hasil dari analisis, pembahasan yang dilakukan serta saran-saran yang perlu diberikan untuk penelitian lebih. Bab ini juga untuk menjawab permasalahan yang telah di rumuskan pada Bab I.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Dalam jurnalnya, Rao et al. (1994) menyatakan bahwa sambungan tubular di struktur lepas pantai menjadi bagian dominan. Bentuk tubular dipilih karena selain menambah buoyancy juga memiliki torsi yang baik dan kemungkinan permukaan are yang terkena korosi lebih sedikit. Bagian bagian tubular tersebut disambung menggunakan pengelasan yang disebut tubular joint. Pada bagian joint dikenai konsentrasi tegangan yang sangat tinggi akibat dari efek diskontinu beban. Tegangan maksimum terjadi pada joint baik di chord maupun brace tergantung dari tipe geometrinya.

Dominguez (1994) menjelaskan bahwa pada struktur lepas pantai pembebanan yang mengakibatkan fatigue berasal dari hempaan gelombang. Pada elemen tubular konsentrasi tegangan bergantung pada unsure unsur geometri dan dimensinya seperti keadaan seastate yang mengenai dan terjadinya resonansi.

Kegagalan fatigue pada struktur lepas pantai diakibatkan beberapa alasan berikut:

- a. Konsentrasi tegangan
- b. Cacat pada las lasan
- c. Kelalaian dalam NDT test
- d. Tidak diperhitungkanya gaya gelombang
- e. Jumlah marine growth yang terjadi
- f. Tidak berfungsinya proteksi korosi

Umur fatigue pada tubular join didefinisikan jumlah siklus tegangan yang menyebabkan keretakan atau dalam lain kata ketika joint belum mencapai batas fracturenya. Dan dalam menentukan umur fatigue terdapat dua metode. Metode yang pertama menggunakan *cumulative damage* dan yang kedua menggunakan mekanika kepecahan. Salah satu metode mekanika kepecahan adalah linear elastic fracture mechanic (LEFM), LEFM memperhatikan tingkat dan kemunculan keretakan beserta penjaranya. Analisa LEFM cukup rumit dikarenakan dari bentuk kompleks geometri, kondisi pembebanan dan tingkah laku materialnya dalam menghadapi keretakan. Untuk menggunakan LEFM sangat penting untuk mengetahui distribusi tegangan di sekitar retak. Parameter utama adalah bentuk retak dan posisinya, efek retak dalam

penjalaranya, variasi tegangan pada retak tersebut dan tegangan sisa. Dalam mencari SIF terdapat beberapa cara yaitu: a) solusi klasik untuk geometri dikoreksi ke tubular joint b) metode numerik, dan c) solusi semi-empiris. (Rao et al. 1994)

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Struktur Tetap Jacket Platform

Salah satu struktur yang biasa digunakan pada bangunan lepas pantai adalah struktur tetap atau disebut fixed platform. Struktur ini terpancang pada dasar laut. Terdapat 5 tipe yaitu tipe jaket, minimal platform, gravity based structure, jackup, dan compliant tower. Salah satu yang lazim digunakan adalah tiper jaket (jacket platform). Tipe struktur ini banyak digunakan baik dalam operasi pengeboran, produksi, dan flare support. Untuk mencapai kestabilan terhadap beban lingkungan yang mengenainya terdapat kaki kaki yang menahan. Struktur ini memiliki tiga hingga delapan kaki. Struktur jaket terdiri dari beberapa bagian utama, yaitu jacket, *deck*, dan pondasi atau tiang.

a. Jacket

Jacket merupakan bagian bawah pada struktur yang berfungsi menopang struktur bagian atas. Jacket selain untuk penopang juga berfungsi melindungi tiang baja yang ada di dalamnya. Jacket berupa pipa baja berbentuk tubular dengan ukuran tertentu sesuai dengan tiang baja yang akan dilindungi didalamnya. Pada jaket terdapat beberapa komponen struktur. Komponen-komponen struktur jaket tersebut adalah sebagai berikut:

- *Jacket Leg*

Jacket leg atau kaki-kaki jaket. Kaki-kaki ini berupa pipa baja tubular.

- *Braces*

Braces ini merupakan pengkokoh dan pengaku kaki jacket. Braces ini terdapat di elevasi-elevasi tertentu dengan berbagai jenisnya. Terdapat brace berbentuk K, Y, dan T. Braces dengan *jacket leg* dihubungkan oleh *joint*.

- Komponen Tambahan

Komponen tambahan yang lazim terdapat pada *jacket platform* adalah *conductor guide*, *riser*, *riser guard*, *boatlanding*, *padeye*, dan *mudmat*. Pada jaket yang digunakan untuk produksi biasanya terdapat struktur-struktur tambahan seperti, *boatlanding*, konduktor dan penahannya,

riser, walkways, dll. Sedangkan jaket untuk flare support lebih sederhana karena hanya menopang tiang flare saja.

b. Deck

Struktur bagian jaket berikutnya adalah *deck* yang merupakan bagian atasnya struktur jaket. Struktur jaket biasanya mampu menopang 2-3 dek dengan berbagai macam peralatan operasi di atasnya. Deck merupakan bagian yang difungsikan sebagai tempat peralatan operasional sesuai fungsinya. Pada drilling platform terdapat peralatan drilling, pada production platform terdapat fasilitas produksi, storage room, fasilitas operasional lain, dan pada flare platform deck hanya berisi tiang flare saja.

c. Pondasi

Struktur bagian berikutnya adalah pondasi. Pondasi ini biasanya berupa tiang (*pile*). Tiang ini dipancangkan ke dasar laut dengan diselubungi oleh jaket. Sebagai pondasi, tiang ini mampu untuk meneruskan seluruh gaya luar yang terjadi pada struktur ke dalam tanah.

2.2.2 Beban Pada Struktur

Struktur lepas pantai didesain sedemikian rupa untuk menahan beban-beban yang akan mengenainya. Beban-beban tersebut diperhitungkan sesuai analisis yang akan dilakukan. Terdapat berbagai beban meliputi: beban mati, beban hidup, beban lingkungan, beban dinamik, dan beban konstruksi.

a. Beban Mati

Beban mati atau *dead load* merupakan beban dari struktur tersebut beserta seluruh peralatan yang tidak berubah ubah ketika masa operasi. Beban mati meliputi beban-beban berikut:

- Berat dari struktur anjungan yang tidak tercelup air, tiang pancang, dan semen pengisi
- Berat dari peralatan pada dek yang dipasang permanen dan tidak berubah
- Gaya hidrostatik berupa tekanan dan gaya apung

b. Beban hidup

Beban hidup atau *live load* merupakan beban pada struktur yang berpindah pindah dalam masa operasinya. Beban hidup meliputi:

- Berat dari peralatan kegiatan produksi, misalnya pengeboran, yang dapat ditambahkan atau dipindahkan dari struktur.

- Berat dari ruang tempat tinggal, helideck, penyokong hidp, perlengkapan penyelamat, peralatan menyelam, dan perlengkapan lain yang dapat ditambahkan atau dipindahkan dari struktur anjungan.
 - Berat dari persediaan dan cairan dalam tangki penyimpanan.
 - Gaya yang dikenakan pada struktur akibat operasi, misalnya kegaitan pengeboran, penambatan kapal pada boat landing, dan beban dari helicopter pada *helideck*.
 - Gaya yang dikenakan pada struktur akibat *deck crane*. Gaya ini didapatkan dari gaya pada saat diam maupun bergerak serta beban matinya.
- c. Beban lingkungan
- Beban lingkungan atau *environment load* merupakan beban dari fenomena alam yang mengenai struktur tersebut seperti angin, arus, gelombang, pergerakan lempeng bumi, dll.
- d. Beban dinamik
- Beban dinamik adalah beban yang bekerja pada anjungan yang merupakan respon dari adanya beban berulang atau benturan. Respon dapat diakibatkan oleh gelombang, angin, gempa bumi, ataupun mesin yang bekerja pada struktur. Benturan dapat diakibatkan oleh adanya kapal yang merapat ke anjungan atau pada saat proses pengeboran.
- e. Beban Konstruksi
- Beban konstruksi merupakan beban yang timbul pada proses konstruksi dari struktur, mulai dari proses fabrikasi, *load out*, transportasi, instalasi, dsb.

2.2.3 Analisa Fatigue

Analisis *Fatigue* dapat dilakukan dengan berbagai metode, yaitu metode deterministik dan spektral. Analisis *fatigue* deterministik dilakukan untuk struktur yang tidak peka terhadap gaya dinamik dan untuk kondisi dimana semua gelombang yang menyebabkan fatigue memiliki periode gelombang yang panjang.

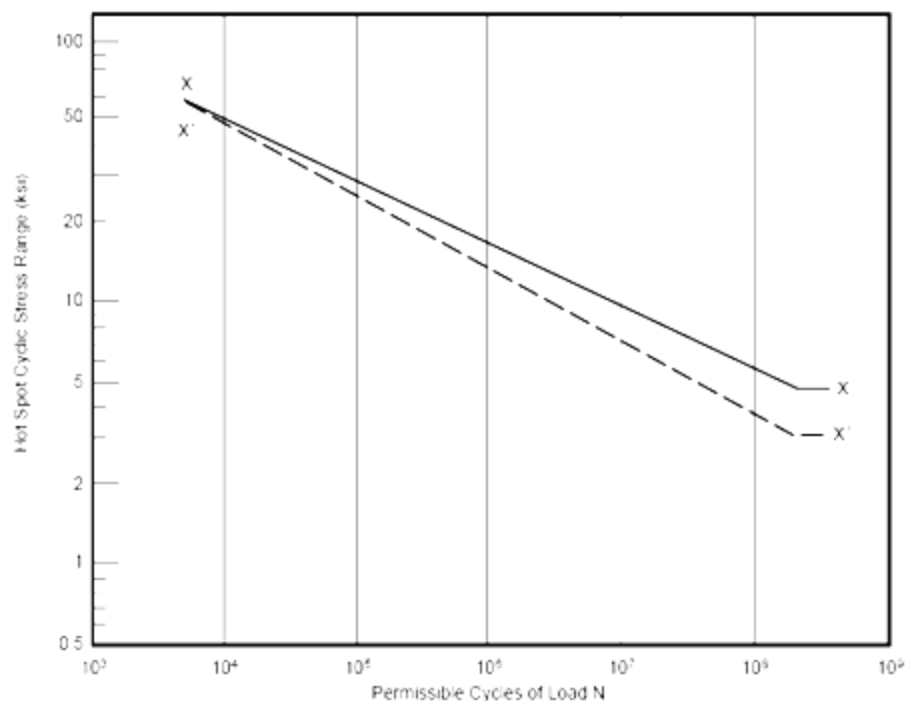
Metode analisis fatigue yang akan digunakan pada pemodelan dalam tugas akhir ini adalah menggunakan analisis *fatigue* spektral. Analisis *fatigue* spektral melakukan pendekatan secara statistik untuk menghitung kerusakan fatigue untuk struktur yang mengalami pembebanan dinamik yang memiliki sifat tetap secara statistic untuk jumlah siklus tegangan yang banyak, misalnya gaya angin dan gelombang. Metode ini memanfaatkan spektrum gelombang dan *transfer function*. Dengan begitu

menunjukkan hubungan antara rasio respon struktur terhadap ketinggian gelombang sebagai fungsi dari frekuensi gelombang untuk suatu kisaran frekuensi gelombang. Dengan demikian analisis *fatigue* spektral ini memperhitungkan distribusi nyata dari energi untuk seluruh kisaran frekuensi gelombang.

Dalam melakukan analisis *fatigue*, diperlukan adanya parameter-parameter yang digunakan. Parameter-parameter tersebut adalah sebagai berikut:

a. Kurva S-N

Kurva S-N merupakan karakteristik *fatigue* yang digunakan dari suatu bahan yang mengalami tegangan berulang dengan besar yang sama. Kurva ini didapatkan dari tes spesimen baja yang diberi beban berulang dengan jumlah N siklus hingga terjadi *failure*. Besarnya jumlah N berbanding terbalik dengan rentang tegangan S (selisih dari tegangan maksimum dikurangi tegangan minimum). Kurva S-N tersebut merepresentasikan informasi karakteristik *fatigue* dengan amplitudo pembebanan konstan. Berikut merupakan gambar kurva S-N menurut API-RP2A untuk *tubular joint* ditunjukkan pada Gambar 2.1 :



Gambar 2.1 Kurva S-N

(Sumber: API RP2A-WSD 21st Edition, 2000)

Kurva S-N dapat dinyatakan dalam persamaan matematis sebagai berikut:

$$N = 2 \times 10^6 \left(\frac{\Delta}{\Delta \sigma_{ref}} \right) \quad (2.1)$$

Dimana:

N adalah jumlah banyaknya siklus beban sampai member mengalami failure.

Δ adalah rentang tegangan (tegangan maksimum – tegangan minimum).

$\Delta \sigma_{ref}$ adalah rentang pada siklus sebanyak 2×10^6 kali

M adalah kemiringan (gradient) pada kurva S-N

b. Aturan Miner-Palmgren

Untuk menentukan seberapa dekat nilai siklus dari rentang tegangan yang menyebabkan *failure* yang kemudian disebut dengan kerusakan *fatigue* dapat menggunakan aturan Miner-Palmgren sebagai berikut:

$$D = \sum_{i=1}^N \frac{N_{applied_i}}{N_{resisted_i}} \quad (2.2)$$

Dimana:

D adalah besar kerusakan dalam 1 tahun.

$N_{applied_i}$ adalah jumlah siklus pada rentang tegangan yang bekerja pada grup ke- i .

$N_{resisted_i}$ adalah jumlah siklus pada rentang tegangan yang diijinkan pada grup ke- i .

N adalah jumlah pembagian grup rentang tegangan .

c. *Stress Concentration Factor*

Untuk memeriksa kerusakan *fatigue* dari suatu batang seragam terhadap suatu tegangan aksial adalah sangat mudah. Namun ketika bentuk struktur kompleks akan sulit untuk menentukan variasi tegangan karena terdapat konsentrasi-konsentrasi tegangan, khususnya ketika aliran tegangan berubah arah secara tiba-tiba.

Terdapat tiga cara umum untuk menuntaskan permasalahan tersebut, yakni:

- 1) Memodelkan dengan elemen hingga.
- 2) S-N Curves dengan Built-in SCFs.
- 3) Menggunakan faktor konsentrasi tegangan atau *stress concentration factor*.

Pendekatan dengan cara ini umum digunakan pada *tubular joints*, dimana persamaan parametrik telah dikembangkan oleh beberapa insinyur

berdasarkan analisis elemen hingga. Persamaan-persamaan tersebut tidak hanya dengan geometri join tetapi juga bergantung pada bagaimana beban diaplikasikan. Itu artinya tipe join hanya dapat ditentukan setelah distribusi beban pada struktur ditentukan. Pada kasus ini rentang tegangan dapat didefinisikan sebagai rentang tegangan nominal dikalikan *stress concentration factor*, seperti pada persamaan di bawah ini.

$$S = S_{nominal} \times SCF \quad (2.3)$$

Dimana:

S adalah rentang tegangan.

$S_{nominal}$ adalah rentang tegangan nominal.

SCF adalah *stress concentration factor*.

2.2.4 Mekanika Kepecahan

Mekanika kepecahan adalah suatu analisis penyelesaian dengan cara mendefinisikan kondisi lokal dari tegangan dan regangan di sekitar retakan yang dikorelasikan dengan parameter-parameter globalnya (beban-beban, geometri dan sebagainya) dimana retakan akan merambat.

Mekanika kepecahan merupakan metode yang digunakan untuk mempelajari perilaku material dengan menganalisa strukturnya. Metode ini dikembangkan dari konsep konvensional seperti kekuatan tarik, batas lulur, dan tegangan buckling. Hal ini dikarenakan konsep konvensional diperuntukkan struktur yang dianggap tidak terdapat cacat. Padahal fakta di lapangan, menunjukkan bahwa sering terdapat cacat dalam konstruksi. Berawal dari cacat tersebut dapat mengakibatkan fatigue dan struktur mengalami kegagalan. Penelitian terhadap mekanika kelelahan memperlihatkan proses kelelahan material diawali munculnya retak awal (*crack initiation*), kemudian terjadi perambatan retak (*crack propagation*) dan akhirnya terjadi retak (*final fracture*) dimana proses ini panjang retak dalam kondisi kritis.

Fracture mechanics terbagi menjadi dua kategori, yakni *linear-elastic* (LEFM) dan *elastic-plastic* (EPFM).

LEFM adalah metode yang menunjukkan hubungan antara medan tegangan dan distribusinya di sekitar ujung retak dengan ukuran, bentuk, orientasi retak dan material properti akibat tegangan nominal yang dikenakan pada struktur. Metode ini menggunakan parameter K , atau SIF untuk menunjukkan karakteristik dari medan tegangan yang terjadi. LEFM dapat digunakan selama daerah plastic sangat kecil,

dimana tegangan lebih rendah dari tegangan ijin. LEFM digunakan pada material yang bersifat *brittle*, contohnya keramik, gelas, dan baja

EPFM lebih sering digunakan pada material yang bersifat *ductil*, dimana terjadi perilaku *elastic-plastic* pada material akibat pembebanan yang terjadi. Metode ini merupakan pengembangan dari LEFM, dengan penambahan analisa yang dapat menunjukkan deformasi plastis dari material.

2.2.5 Stress Intensity Factor

Faktor intensitas tegangan adalah parameter distribusi tegangan disekitar ujung retak. Jika faktor intensitas tegangan (K) mencapai faktor intensitas tegangan ambang ($K_{\text{threshold}}$), maka retak mulai menjalar dan apabila mencapai harga kritis material (K_{ic}) maka terjadi kegagalan struktur yang disebut *fracture toughness*.

Stress Intensity Factor (K) merupakan elemen penting dalam analisa keretakan. Dalam menentukan K terdapat beberapa parameter, yaitu: panjang, dimensi retak, posisi retak, dan variasi tegangan. Metode dasar dalam menentukan K dengan metode superposisi. Dalam metode superposisi analisa dilakukan dalam dua tahap, yaitu penentuan tegangan pada komponen tanpa retak dilanjutkan dengan penentuan faktor intensitas tegangan. Menurut Stanzl (1982) faktor intensitas tegangan dinyatakan dengan:

$$K = Y(a)\sigma\sqrt{\pi a} \quad (2.4)$$

Keterangan:

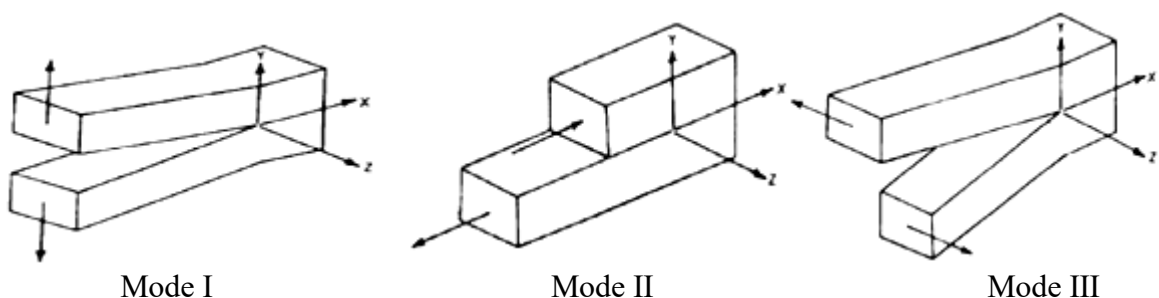
K = Stress Intensity Factor

σ = Variasi tegangan pada daerah hot spot

a = Kedalaman retak

2.2.6 Stress Intensity Factor dari persamaan Irwin

Dalam kajian mekanika kepecahan, Irwin dengan mengembangkan perumusan sebelumnya menggolongkan tiga metode deformasi, seperti pada Gambar 2.2:



Gambar 2.2 Tiga mode deformasi retak

(Sumber: Barsom dan Stanley, 1999)

Mode deformasi retak tersebut adalah:

- a. Mode I (*opening mode*) adalah retak yang diakibatkan tegangan tarik tegak lurus terhadap bidang penjalaran retak. Displacement permukaan tegak lurus bidang retak

Persamaan untuk mode I yang dirumuskan Irwin adalah:

$$\sigma_x = \frac{K_I}{(2\pi r)^{1/2}} \cos \frac{\theta}{2} \left[1 - \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right] \quad (2.5)$$

$$\sigma_y = \frac{K_I}{(2\pi r)^{1/2}} \cos \frac{\theta}{2} \left[1 + \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right] \quad (2.6)$$

$$\tau_{xy} = \frac{K_I}{(2\pi r)^{1/2}} \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{\theta}{2} \cos \frac{3\theta}{2} \quad (2.7)$$

$$\sigma_z = \nu(\sigma_x + \sigma_y), \tau_{xz} = \tau_{yz} = 0 \quad (2.8)$$

Keterangan:

K_I = SIF mode I

σ_x = tegangan normal arah sumbu x

σ_y = tegangan normal arah sumbu y

σ_z = tegangan normal arah sumbu z

τ_{xy} = tegangan geser bidang x arah sumbu y

r = jarak crack tip dengan node yang ditinjau

θ = sudut antara noe yang ditinjau dengan sumbu x

- b. Mode II (*sliding mode*) adalah retak yang diakibatkan oleh tegangan geser searah dengan penjalaran retak. Displacement permukaan retak searah dengan bidang retak.

Persamaan untuk mode I yang dirumuskan Irwin adalah:

$$\sigma_x = -\frac{K_{II}}{(2\pi r)^{1/2}} \sin \frac{\theta}{2} \left[2 + \cos \frac{\theta}{2} \cos \frac{3\theta}{2} \right] \quad (2.9)$$

$$\sigma_y = \frac{K_{II}}{(2\pi r)^{1/2}} \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{\theta}{2} \cos \frac{3\theta}{2} \quad (2.10)$$

$$\tau_{xy} = \frac{K_{II}}{(2\pi r)^{1/2}} \cos \frac{\theta}{2} \left[1 - \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right] \quad (2.11)$$

$$\sigma_z = \nu(\sigma_x + \sigma_y), \tau_{xz} = \tau_{yz} = 0 \quad (2.12)$$

Keterangan:

K_{II} = SIF mode II

σ_x = tegangan normal arah sumbu x

σ_y = tegangan normal arah sumbu y

σ_z = tegangan normal arah sumbu z

τ_{xy} = tegangan geser bidang x arah sumbu y

r = jarak crack tip dengan node yang ditinjau

Θ = sudut antara noe yang ditinjau dengan sumbu x

- c. Mode III (*tearing mode*) adalah retak yang diakibatkan oleh tegangan geser bekerja pada arah melintang dan membentuk sudut dengan penjalaran retak. Displacement permukaan retak searah dengan bidang retak.

Persamaan untuk mode I yang dirumuskan Irwin adalah:

$$\tau_{xz} = -\frac{K_{III}}{(2\pi r)^{1/2}} \sin \frac{\theta}{2} \quad (2.13)$$

$$\tau_{yz} = \frac{K_{III}}{(2\pi r)^{1/2}} \cos \frac{\theta}{2} \quad (2.14)$$

$$\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z = \tau_{xy} = 0 \quad (2.15)$$

Keterangan:

K_{III} = SIF mode III

σ_x = tegangan normal arah sumbu x

σ_y = tegangan normal arah sumbu y

σ_z = tegangan normal arah sumbu z

τ_{xy} = tegangan geser bidang x arah sumbu y

r = jarak crack tip dengan node yang ditinjau

Θ = sudut antara noe yang ditinjau dengan sumbu x

Dalam penelitian tugas akhi ini menggunakan mode I. Sehingga beban yang digunakan untuk menghasilkan retak adalah beban aksial. Beban ini diakibatkan oleh tegangan tarik yang tegak lurus terhadap bidang penjalaran retak

2.2.7 Stress Intensity Factor dari Persamaan Retak Semi Elip

Menurut buku "Fracture and Fatigue Control in Structures: Applications of Fracture Mechanic" karangan Barsom, Stress Intensity Factor untuk retak berbentuk semi elip seperti kuku ibu jari (Gambar 2.3) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$K_I = 1.12 \sigma \sqrt{\pi \frac{a}{Q}} \cdot M_K \quad (2.16)$$

Keterangan:

a = panjang retak awal

= tegangan pada lokasi retak

Q = faktor koreksi *front free surface* , didapat dari kurva perbandingan $a/2c$ dan σ/σ_{ys} seperti pada Gambar 2.4

M_k = factor koreksi *back free surface*

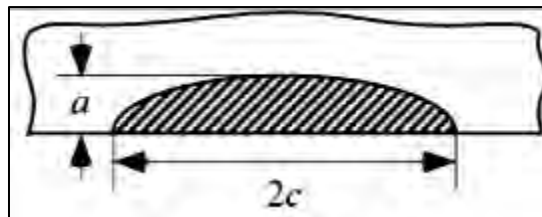
Nilai K_I sangat bergantung pada dimensi, geometri dan posisi dari *crack*.

$$M_K = 1.0 + 1.2 \left(\frac{a}{t} - 0.5 \right) \quad (2.17)$$

Keterangan:

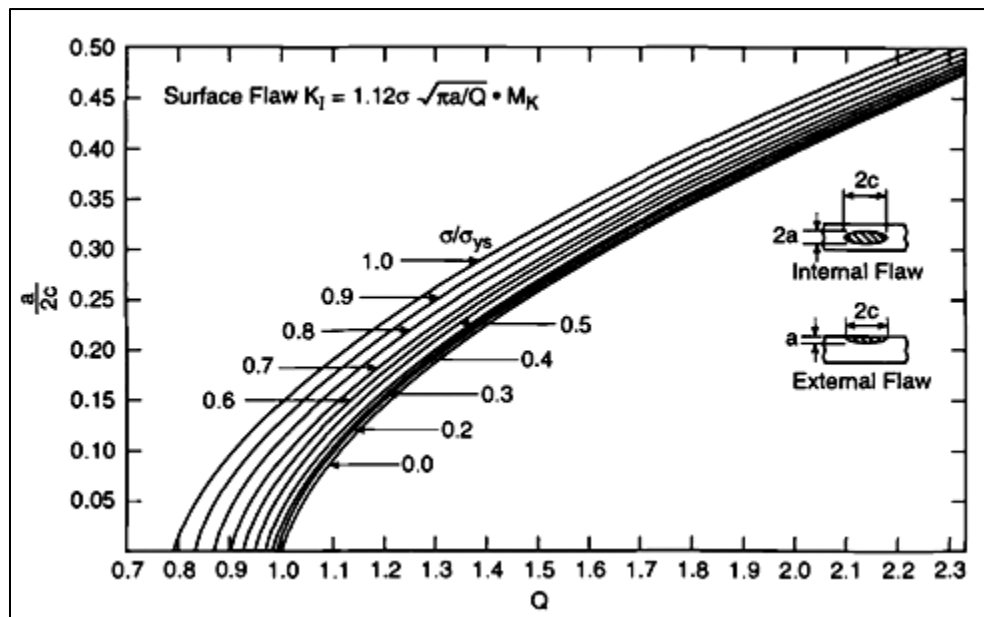
K_I = *Stress Intensity Factor*

t = ketebalan dinding



Gambar 2.3 Ilustrasi Retak Semi Elip

(Sumber: Barsom dan Stanley, 1999)



Gambar 2.4 Grafik Penentuan Parameter Q

(Sumber: Barsom dan Stanley, 1999)

2.2.8 Stress Intensity Factor dari Persamaan Through-Thickness Crack

Menurut buku "Fracture and Fatigue Control in Structures: Applications of Fracture Mechanic" karangan Barsom, Stress Intensity Factor untuk retak yang menembus ketebalan dengan lebar tertentu seperti Gambar 2.5 adalah

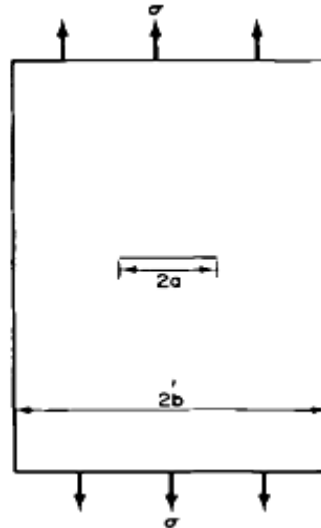
$$K_I = \sigma \sqrt{\pi a} \left(\frac{2b}{\pi a} \tan \frac{\pi a}{2b} \right)^{1/2} \quad (2.18)$$

Keterangan:

a= panjang retak awal

= tegangan pada lokasi retak

$\frac{2b}{\pi a} \tan \frac{\pi a}{2b}$ = Faktor koreksi untuk *finite width plate containing through thickness* (Tabel 2.1)



Gambar 2.5 Ilustrasi Through Thickness

(Sumber: Barsom dan Stanley, 1999)

Tabel 2.1 Faktor Koreksi retak through thickness

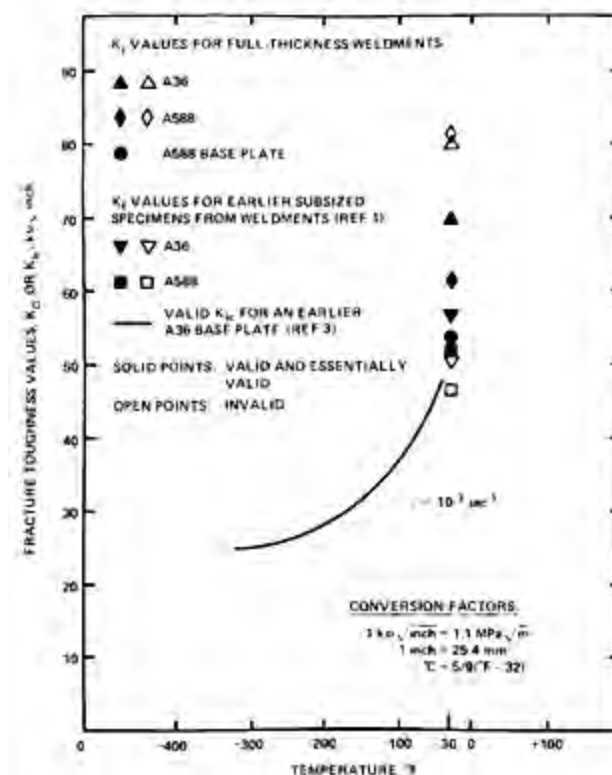
a/b	$[2b/\pi a \cdot \tan \pi a/2b]^{1/2}$
0.074	1.00
0.207	1.02
0.275	1.03
0.337	1.05
0.410	1.08
0.466	1.11
0.535	1.15
0.592	1.20

(Sumber: Barsom dan Stanley, 1999)

2.2.9 Fracture Toughness (K_{Ic})

Fracture Toughness (K_{Ic}) merupakan kemampuan material dalam menahan besarnya tegangan yang bekerja pada ujung retak. Dapat juga dikatakan sebagai sifat material yang menghambat penjarangan retak. Sifat ini kemudian dipakai dalam kriteria desain dalam perancangan kekuatan suatu material terhadap gaya luar yang bekerja padanya.

Setiap material memiliki *fracture toughness* yang berbeda-beda. *Fracture toughness* diperoleh dari eksperimen uji material di laboratorium sampai terjadi *fast fracture*. *Fast fracture* sendiri merupakan keadaan dimana perambatan retak menjadi tidak stabil dengan kecepatan yang tinggi. Struktur bisa saja mengalami kegagalan akibat *fast fracture* meskipun tegangan yang terjadi masih dibawah *yield strength* dari material. Kegagalan akibat *fast fracture* terjadi ketika nilai *stress intensity factor* sama dengan nilai dari *fast fracture*. Pada penelitian tugas akhir ini menggunakan material baja karbon ASTM A 36 yang memiliki fracture toughness sebesar 81 ksi√in. (Sovak,J.F.1981) seperti ditunjukkan pada Gambar 2.6



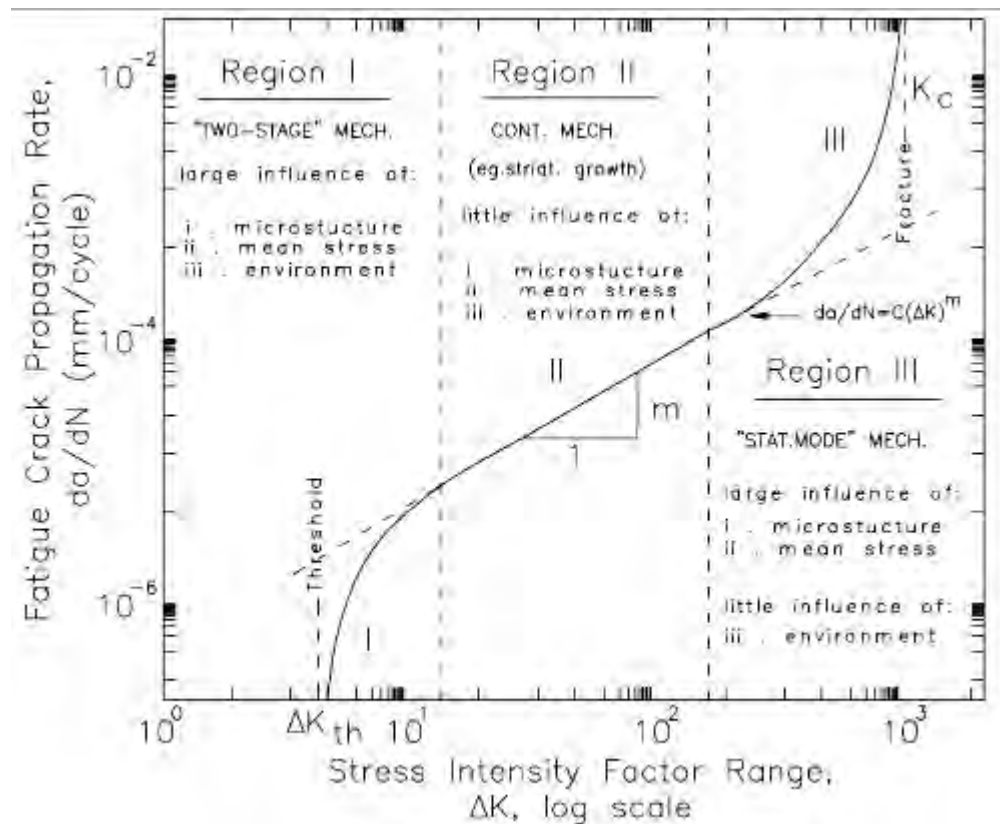
Gambar 2.6 Kurva Fracture Toughness

(Sumber: Sovak,J.F.1981)

2.2.10 Perambatan Retak

Proses kepecahan memperlihatkan 3 fase yaitu pertumbuhan retak tanpa pembebanan, pertumbuhan retak stabil, dan pertumbuhan retak tidak stabil. Pertumbuhan retak lelah ditentukan oleh 2 (dua) parameter mekanika kepecahan, yaitu ΔK dan K_{max} . Pada awalnya, retak awal terjadi setelah adanya kondisi kritis. Perambatan retak terjadi dalam waktu yang lama dalam kondisi operasi normal. Perambatan retak akibat medan tegangan dan regangan di sekitar ujung retak, ditunjukkan dengan parameter *stress intensity factor* (K), yang merupakan fungsi dari tegangan, geometri dan dimensi retak.

Dari konsep *fracture mechanics*, laju perambatan retak dinyatakan dengan da/dN yang merupakan fungsi dari sifat material, panjang retak, dan tegangan operasi. Perambatan retak terdiri atas tiga tahapan (Gambar 2.7).



Gambar 2.7. Kurva perambatan retak

(Sumber: Barsom dan Stanley, 1999)

- Region I : perambatan retak pada region ini menunjukkan karakteristik "*fatigue threshold*" yang merupakan fluktuasi kenaikan nilai *stress intensity factor* dengan parameter ΔK_{th} . Nilai ΔK harus lebih besar dari nilai ΔK_{th} untuk memungkinkan terjadinya perambatan retak. Nilai da/dN antara region I dan region II adalah :

$$\frac{da}{dN} = c(\Delta K^m - \Delta K + h^m) \quad (2.19)$$

- Region II : perambatan-perambatan retak mulai terjadi. Kecepatan perambatan retak dapat dihitung menggunakan hukum Paris-Erdogan:

$$da/dN = C (\Delta K)^m \quad (2.20)$$

- Region III : perambatan retak yang terjadi lebih cepat daripada region II, merupakan awal terjadinya kepecahan. Nilai da/dN antara region I, II dan region III (bila efek R diperhitungkan) adalah :

$$\frac{da}{dN} = \frac{\Delta K^2}{4\pi\sigma_y} \left\{ \frac{(\Delta K - \Delta K_c + h)(1-R)}{(1-R)K_c - \Delta K} \right\}^{1/2} \quad (2.21)$$

keterangan

da/dN : kecepatan perambatan retak

ΔK : range faktor intensitas tegangan

K : harga kritis K

R : rasio tegangan = min/ max

C dan m : parameter pertumbuhan retak

2.2.11 Kedalaman Retak kritis

Kedalaman retak kritis dihitung dengan menggunakan rumus:

$$a_{cr} = \left(\frac{KIC}{\sigma_{max}\sqrt{\pi}} \right)^2 \quad (2.22)$$

Apabila kedalaman retak telah melebihi kedalaman retak kritis maka dapat diketahui bahwa struktur akan mengalami kelelahan.

2.2.12 Analisa Umur Kelelahan Struktur

Hasil perhitungan perambatan retak ini umumnya ditunjukkan sebagai umur kelelahan dari struktur yang ditinjau. Dengan memberikan masukan berupa besar retak awal dan retak akhir akan diketahui jumlah batas siklus yang masih aman dengan mengintegrasikan persamaan laju keretakan berikut

$$N = \int_{a_o}^{a_f} \frac{da}{da/dN} \quad (2.23)$$

Dengan mensubstitusikan Paris Law didapatkan persamaan baru , yaitu:

$$N = \int_{a_o}^{a_f} \frac{da}{3,6 \cdot 10^{-10} \Delta K^3} \quad (2.24)$$

Keterangan :

da = pertambahan panjang retak

dN = pertambahan jumlah siklus dari beban

af = panjang retak setelah pembebanan

ao = panjang retak pada waktu permulaan

2.2.13 Pemodelan Menggunakan Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga merupakan metode yang meninjau *detail* (dari suatu bagian dengan menggabungkan titik-titik (*nodes*) menjadi elemen sederhana. Elemen-elemen ini selanjutnya digabungkan hingga membentuk elemen hingga (*finite element*). Pendiskritan ini bertujuan untuk melakukan analisis lokal. Metode ini biasanya

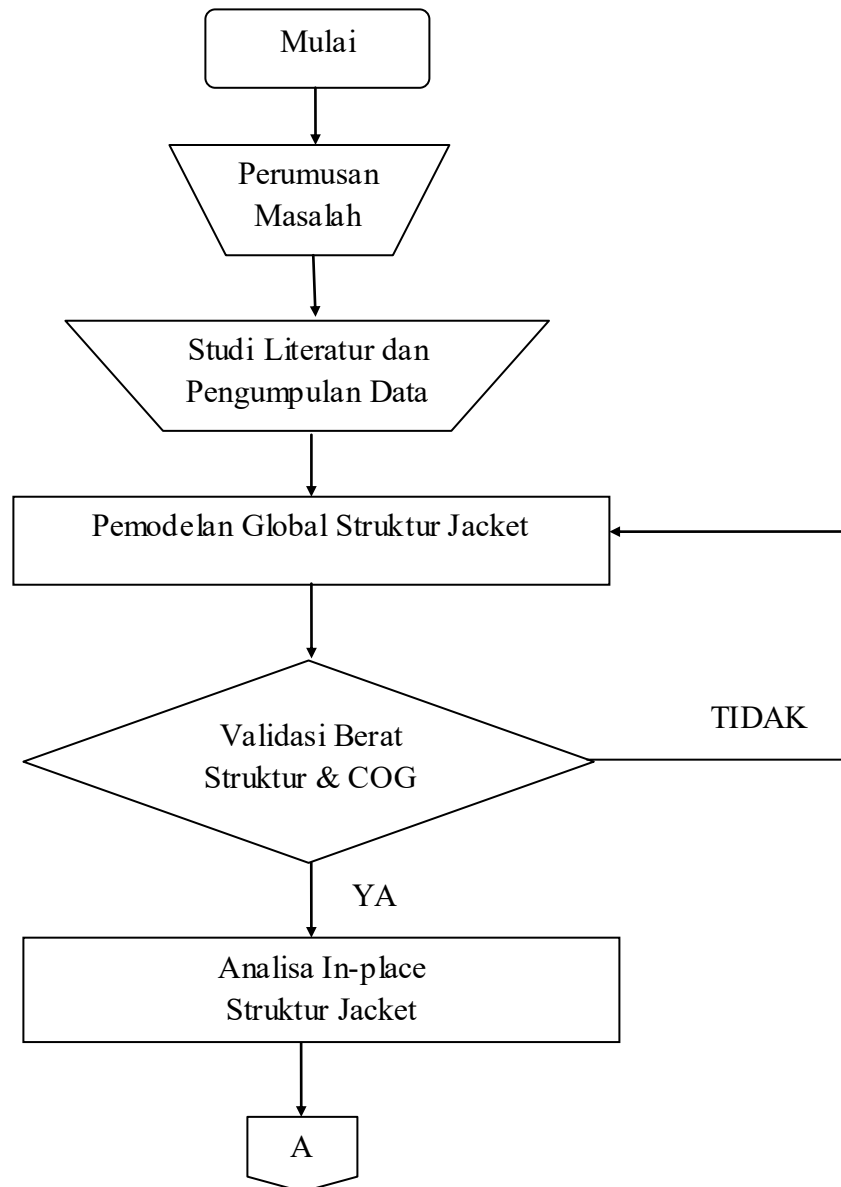
diterapkan dalam pemodelan software-software seperti ANSYS, ABACUS, SAP2000 dan CATIA. Dalam *software* berbasis metode elemen hingga, analisis lokal dapat dilakukan dengan melakukan pemodelan dengan geometri tertentu, pemberian beban dan kondisi batas.

Output dari analisis *software* yang dilakukan biasanya cukup mendekati kondisi nyata. Jenis elemen dipilih untuk menggambarkan kondisi nyata dari model yang akan dianalisa. Hal ini bertujuan untuk menghasilkan analisa yang mendekati keadaan dilapangan. Selain itu, hasil analisa juga dipengaruhi oleh jenis *meshing*. *Meshing* merupakan bentuk elemen kecil yang digunakan sebagai penyusun material yang akan dianalisa. Semakin detail *meshing* yang dipilih, maka hasil analisa yang diperoleh akan semakin akurat. Namun hal ini akan membuat kinerja komputer lebih berat, sehingga proses *running* yang dilakukan akan semakin lama. Untuk menghindari hal ini, *meshing* yang detail dapat dipilih untuk bagian-bagian tertentu yang ingin dianalisa.

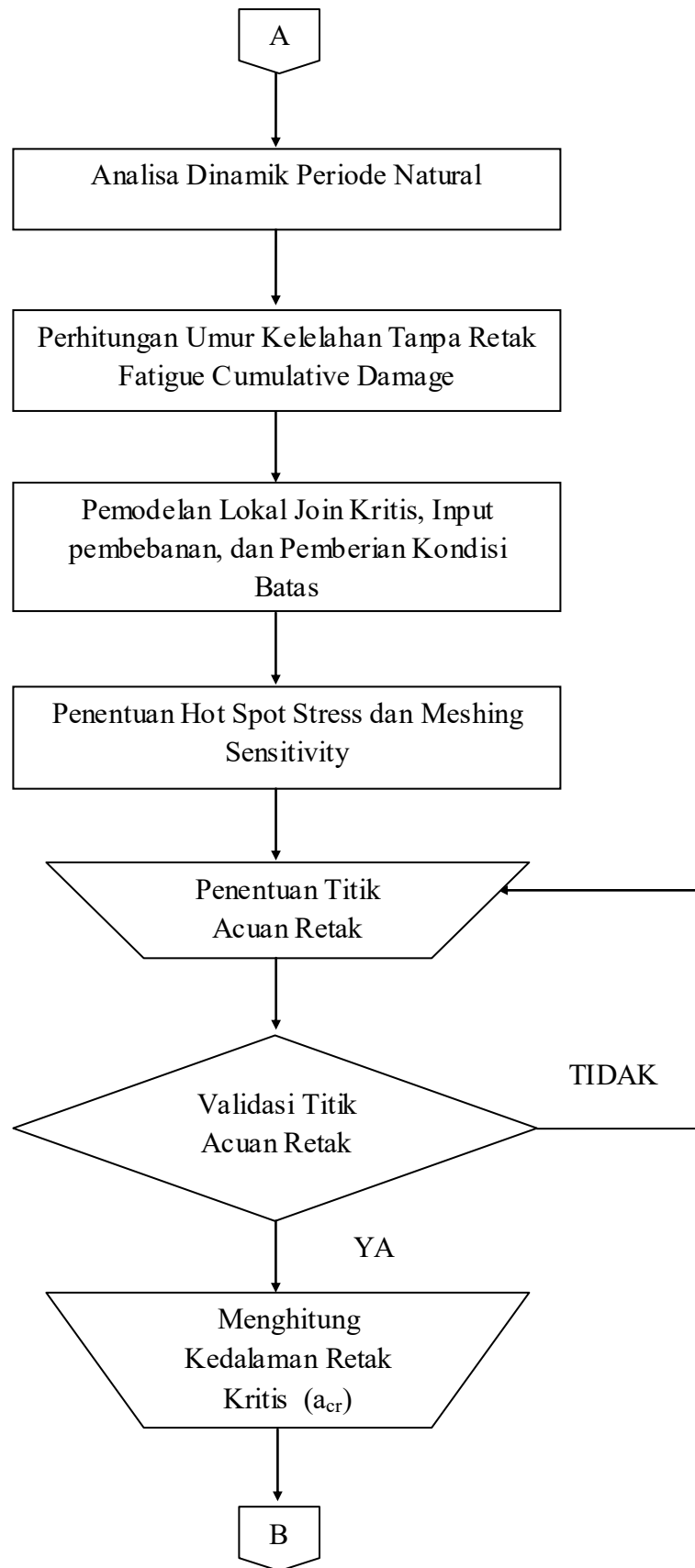
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Langkah Kerja

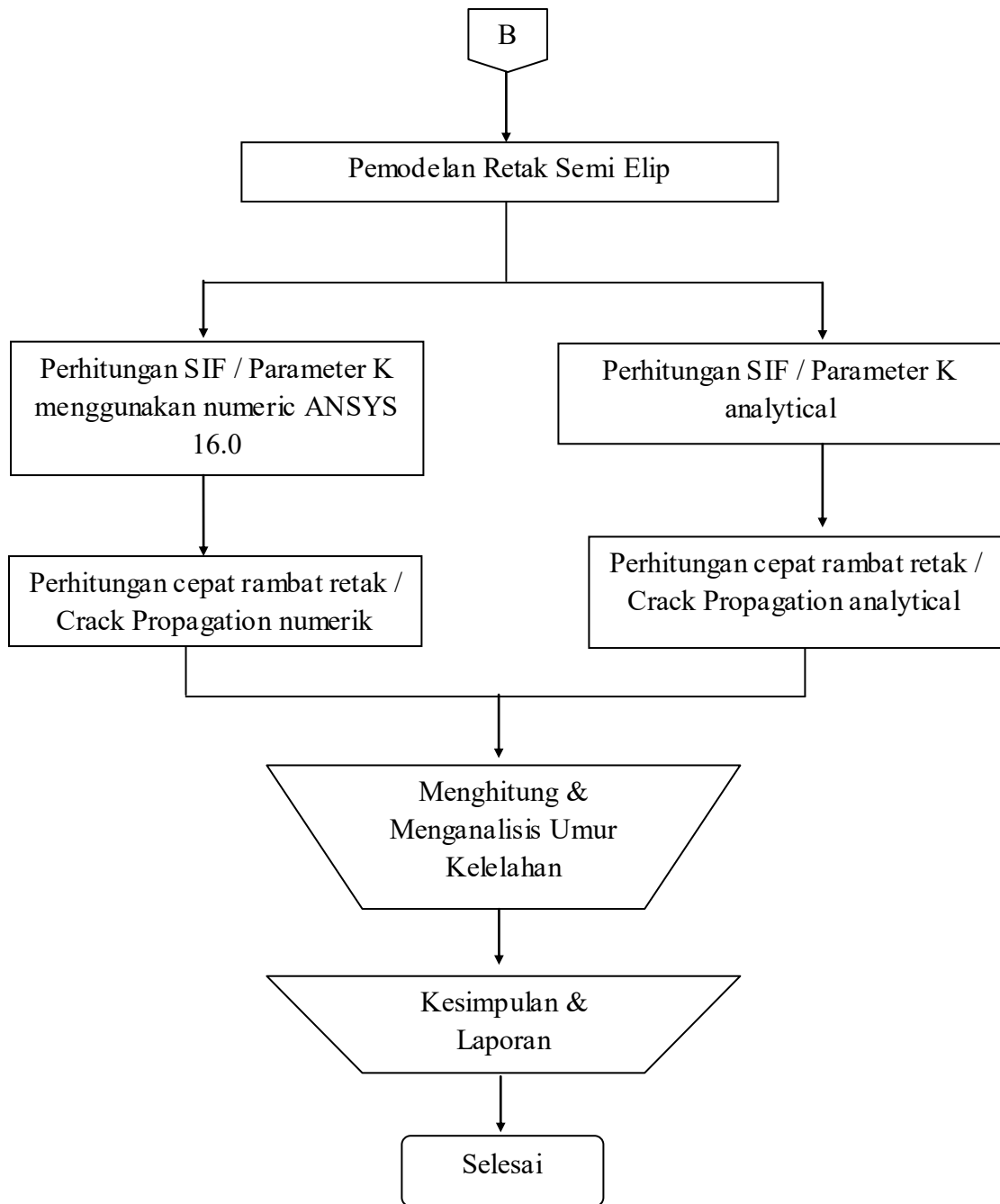
Metodologi penelitian yang digunakan pada Tugas Akhir ini dapat dilihat pada diagram alir (flow chart) di bawah ini:



Gambar 3.1. Diagram alir pengerjaan tugas akhir



Gambar 3.1. Diagram alir pengerjaan tugas akhir (lanjutan)



Gambar 3.1. Diagram alir pengerjaan tugas akhir (lanjutan)

3.2 Penjelasan Diagram Alir

Untuk menyelesaikan permasalahan dalam rumusan masalah tugas akhir ini harus melalui beberapa tahapan yang ditunjukkan dalam diagram alir sebelumnya. Dalam diagram alir tersebut dapat diketahui beberapa tahapan proses pengerjaan tugas akhir dari awal sampai akhir. Terdapat beberapa data dan proses kerja yang diperlukan untuk menyelesaikan tugas akhir ini. Selanjutnya akan dijelaskan beberapa tahapan tersebut, sebagai berikut:

3.2.1 Perumusan Masalah

Dengan merujuk pada isu-isu terhangat dalam dunia offshore dapat merumuskan suatu masalah sebagai bahan penelitian dan diharapkan hasil dari penelitian dapat menyumbangkan informasi yang berguna.

3.2.2 Studi Literatur dan Pengumpulan Data

Studi literatur dilakukan dengan mempelajari berbagai bahan acuan seperti jurnal, buku dan referensi lain seperti Tugas Akhir terdahulu dan artikel di internet. Studi literatur bertujuan untuk membantu dalam memahami dan menganalisa permasalahan pada penelitian ini. Dalam Tugas Akhir ini, data struktur dan data lingkungan didapatkan dari dokumen laporan *service life extension report fs platform* No dokumen: ID-BKP-SOME-10550590008 milik PT.TOTAL E&P INDONESIA.

3.2.3 Pemodelan Global Struktur Jacket

Pemodelan struktur jacket dalam Tugas Akhir ini dilakukan dengan bantuan software SACS. Jacket beserta dek dimodelkan berdasarkan data-data yang telah didapatkan. Akan tetapi dari hasil pemodelan tersebut harus divalidasi terlebih dahulu sebelum digunakan untuk analisis.

3.2.4 Validasi Model

Model struktur jacket yang telah dimodelkan diperiksa kesesuaiannya dengan data struktur yang sudah ada lapangan. Untuk validasi model dilakukan dengan melihat berat struktur dan letak *center of gravity* dengan bantuan perangkat lunak SACS.

3.2.5 Analisa In-Place Struktur

Setelah struktur dimodelkan, maka dilakukan analisa *inplace*. Pada analisa ini dilakukan pengecekan terhadap ketahanan struktur akibat beban statis. Karena ditinjau pada masing masing *jointcan*, maka pada analisa ini didapatkan nilai *unity check* masing masing joint. Dari hasil UC terbesar akan didapatkan umur kelelahan paling sedikit.

3.2.6 Analisa Dinamik Periode Natural

Setelah dilakukan analisis inplace dan mendapatkan UC makan dengan bantuan program SACS dilakukan analisa dinamik untuk mendapatkan periode natural. Periode natural digunakan untuk menentukan teori fatigue yang akan digunakan. Apabila periode natural dibawah 3 bisa menggunakan teori deterministik, namun apabila diatas 3 detik tidak bisa menggunakan teori deterministik.

3.2.7 Perhitungan Umur Kelelahan Tanpa Retak

Dengan teori cumulative damage yang sesuai dilakukan perhitungan umur kelelahan. Perhitungan ini dibantu mengguakan program SACS dengan SCF dari persamaan Efthymou, S-N curve API welded joint, dan design life selama 20 tahun dan dengan menggunakan persamaan Milner akan dikonversikan kedalam range *cycle*

3.2.8 Pemodelan Lokal Join Kritis

Memodelkan 3D sambungan tubular pada join yang kritis menggunakan program SolidWorks. Model 3D ini sebagai bahan dalam model analisis mekanika kepecahan selanjutnya. Dalam model lokal diberikan kondisi batas berupa fixed support dan melakukan input pembebanan

3.2.9 Penentuan Hot Spot Stress dan Meshing Sensitivity

Model Lokal yang sudah dibuat akan dihitung tegangan maksimumnya lewat perhitungan Max Principal Stress. Perhitungan dilakukan menggunakan bantuan program ANSYS Mechanical. Maximum Principal Stress merupakan perhitungan dengan penjumlahan seluruh gaya dan momen yang terjadi. Setelah didapatkan tegangan maksimum akan dilakukan meshing sensitivity untuk mendapatkan ukuran meshing yang sesuai.

3.2.10 Penentuan Titik Acuan Retak

Dikarenakan titik hot spot stress berada pada daerah las lasan dan keterbatasan ANSYS dalam pemodelan retak, maka diambil 4 titik yang mewakili daerah tegangan maksimum tersebut.

3.2.11 Validasi Titik Acuan Retak

Titik titik acuan yang telah ditentukan akan divalidasi dengan cara menghitung SIF / parameter K. Hasil perhitungan SIF dengan bantuan ANSYS akan divalidasi dengan perhitungan SIF manual. Titik yang memiliki selisih paling sedikit akan digunakan untuk analisa selanjutnya.

3.2.12 Menghitung Kedalaman Retak Kritis

Menghitung kedalaman retak kritis digunakan untuk mengecek apakah struktur tersebut mampu bertahan dengan kedalaman retak yang didapatkan.

3.2.13 Pemodelan Retak Semi Elip

Retak dimodelkan pada titik acuan yang telah tervalidasi. Bentuk retak yang akan dimodelkan adalah semi elip. Panjang dan kedalaman retak mengikuti ratio $a/2c$ sebesar 0,15.

3.2.14 Perhitungan SIF/Parameter K

Perhitungan SIF akan dilakukan secara manual dan program ANSYS. Perhitungan manual menggunakan rumus SIF semi elip.

3.2.15 Perhitungan perambatan retak

Perhitungan perambatan retak baik secara manual dan program ANSYS dengan increment crack growth sebesar 0,5 mm.

3.2.16 Menghitung & Menganalisis Umur Kelelahan

Menghitung umur kelelahan dengan cara mengintegalkan laju keretakan dengan kecepatan rambat retak yang sesuai. Hasil perhitungan tersebut akan didapatkan jumlah siklus kegagalan. Hasil dari berbagai analisa tersebut akan dibandingkan dan dianalisis.

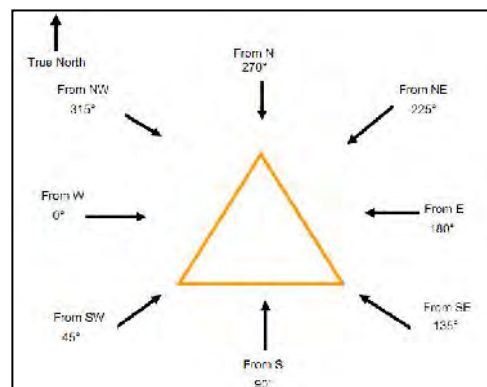
3.2.17 Kesimpulan & Laporan

Apabila Langkah-langkah tersebut berhasil dilakukan akan mendapat tiga hasil umur kelelahan, yaitu dengan menggunakan *cumulative damage* dan mekanika kepecahan dengan jenis retak semi elip. Langkah selanjutnya diambil kesimpulan apakah perpanjangan umur dapat diterima apabila terjadi retak.

3.3 Data Struktur

Dalam penelitian tugas akhir ini, objek studi yang digunakan adalah Bekapai FS flare support platform. Data yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini diambil dari laporan *service life extension report fs platform* No dokumen: ID-BKP-SOME-10550590008 milik PT.TOTAL E&P INDONESIA. Platform yang dioperasikan oleh PT. TOTAL E&P INDONESIA ini berjenis tripod (tiga kaki) yang berfungsi sebagai flare platform. Spesifikasi dari Bekapai FS platform sebagai berikut:

1. Nama Anjungan : Bekapai FS Platform
2. Pemilik : PT. TOTAL E&P INDONESIA
3. Jenis Struktur : Fixed Platform
4. Lokasi : Selat Makasar
5. Lapangan : Bekapai Field
6. Jumlah Dek : 1
7. Jumlah kaki : 3
8. Orientasi Arah Platform : Gambar 3.2



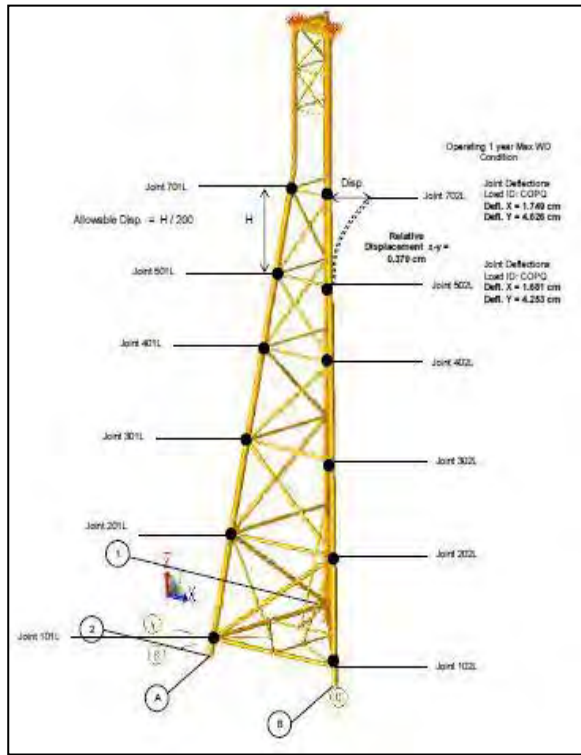
Gambar 3.2 Orientasi Arah Platform

Sumber: (PT.Total E&P INDONESIA, 2014)

9. Elevasi Horizontal Brace :Elevasi (+) 4.572m
Elevasi (-) 2.946m,
Elevasi (-) 9.550m,
Elevasi (-) 17.678m
Elevasi (-) 35.052m.

- **Bekapai FS Platform**

Berikut ini Gambar 3.3 dan 3.4 dari Bekapai FS platform yang berada di Selat Makasar Bekapai Field :



Gambar 3.3 Model Platform

Sumber: (PT.Total E&P INDONESIA,
2014)



Gambar 3.4 Platform di selat
makasar

Sumber: (PT.Total E&P
INDONESIE, 2014)

- **Data Muka Air Rata-rata**

Data muka air rata-rata struktur Bekapai FS platform berdasarkan Tabel 3.1 berikut:

Tabel 3.1 Data Muka Air Rata-Rata

Description	INPLACE				Fatigue & Seismic
	1 Yr		100 Yrs		1 Yr
	min. WD	Max WD	min. WD	Max WD	MSL WD
Chart Datum +/- 0.0 (m)	35.052	35.052	35.052	35.052	35.052
Highest Astronomical Tide (m)/LAT		2.60		2.60	
Lowest Astronomical Tide (m)/CD	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48
Mean Sea Level (m)/LAT					1.10
Storm Surge (m)	0.2	0.2	0.5	0.5	
Water Depth (m)	35.732	38.332	36.032	38.632	36.632

Sumber: (PT.Total E&P INDONESIA, 2014)

- **Data Kecepatan Angin**

Beban angin dihitung sesuai API RP2A WSD, Referensi ketinggian untuk kecepatan angin adalah 10 m di atas *sea level* ditunjukkan pada Tabel 3.2

Tabel 3.2 Data angin

Return Period	Winds Speeds (m/s)
1-Year	16.1
100-Years	26.3

Sumber: (PT.Total E&P INDONESIA, 2014)

- **Data Gelombang**

Data gelombang untuk struktur Bekapai FS ditunjukkan pada Tabel 3.3. Teori gelombang yang digunakan dalam perhitungan adalah teori gelombang Stokes orde 5.

Tabel 3.3 Data Gelombang

Return Period	Wave Height (m)	Wave Period (sec)
1-yr	3.3	6.9
100-yrs	6.2	8.6

Sumber: (PT.Total E&P INDONESIA, 2014)

- **Data Sebaran Gelombang**

Data sebaran gelombang yang akan digunakan dalam analisa umur kelelahan struktur ditunjukkan pada Tabel 3.4

Tabel 3.4 Data Sebaran Gelombang

Wave Height [m]		Wave Period [sec]		DIRECTION (from which)								Occurance
				N [180°]	NE [135°]	E [90°]	SE [45°]	S [0°]	SW [315°]	W [270°]	NW [225°]	
0.0	0.5	3.8	2.5-7.5	0	16,483,575	23,129,793	50,472,126	36,049,083	23,129,793	0	0	149,274,370
0.5	1.0	4.8	3.0-8.0	0	4,434,890	7,095,767	17,393,660	12,422,894	7,095,767	0	0	48,442,978
1.0	1.5	5.4	3.5-8.0	0	700,537	1,293,809	3,597,613	2,569,328	1,293,809	0	0	9,455,096
1.5	2.0	5.6	4.0-8.5	0	97,873	209,015	660,645	471,665	209,015	0	0	1,648,213
2.0	2.5	6.2	4.5-8.5	0	12,853	31,685	114,026	81,341	31,685	0	0	271,590
2.5	3.0	6.5	5.0-9.0	0	1,629	4,596	18,875	13,443	4,596	0	0	43,139
3.0	3.5	6.7	5.5-9.0	0	202	641	3,018	2,143	641	0	0	6,645
3.5	4.0	6.9	5.5-9.0	0	25	85	466	329	85	0	0	990
4.0	4.5	7.1	5.5-9.0	0	3	11	69	48	11	0	0	142
4.5	5.0	7.3	6.0-9.5	0	0	1	10	7	1	0	0	19
				0	21,741,587	31,765,403	72,260,598	51,610,274	31,765,403	0	0	209,143,182

Sumber: (PT.Total E&P INDONESIA, 2014)

- **Data Ketebalan *Marine Growth***

Data ketebalan *Marine Growth* diambil dari underwater inspection yang diambil setiap 1400 kg/m³. Data ketebalan marine growth ditunjukkan pada Tabel 3.5 sebagaimana berikut:

Tabel 3.5 Ketebalan Marine Growth

Elevation (m)	Marine Growth Thk. (mm)
+ 2.480 to -2.946	21.2
- 2.946 to - 9.950	27.4
- 9.950 to - 17.678	37.8
- 17.678 to -25.857	45.0
- 25.857 to -35.052	44.80

Sumber: (PT. Total E&P INDONESIA, 2014)

- **Koefisien Hidrodinamika**

Berikut ini adalah nilai koefisien drag dan inertia yang berguna pada analisa *fatigue cumulative damage* ditunjukkan pada Tabel 3.6

Tabel 3.6 Koefisien Hidrodinamika

Coefficient		In-Place	Fatigue
Inertia	Smooth	1.60	2.0
	Rough	1.20	2.0
Drag	Smooth	0.65	0.5
	Rough	1.05	0.8

Sumber: (PT. Total E&P INDONESIA, 2014)

- **Beban *Topside***

Berikut beban topside pada Bekapai ditunjukkan pada Tabel 3.7:

Tabel 3.7 Beban Topside

Topside Loads	Loads	
Bridge Loads	662.1	kips
Live loads	7.102	kips
Plating, grating, handrails, equipment	43.34	kips

Sumber: (PT. Total E&P INDONESIA, 2014)

- **Data Material**

Berikut adalah data properti material yang digunakan pada platform ini ditunjukkan pada Tabel 3.8:

Tabel 3.8 Data Material

Modulus Young	29007.55 ksi
Shear Modulus	11603.018 ksi
Poisson ratio	0.3
Volumetric mass	7850 kg / m ³
Tubular < 18 Ø	ASTM A53 Grade B Fy = 35 ksi
Tubular > 18 Ø	ASTM A 36, Fy = 36 ksi
Rolled Section	ASTM A 36, Fy = 36 ksi

Sumber: (PT. Total E&P INDONESIA, 2014)

- **Data Retak**

Dalam penelitian tugas akhir ini, data dimensi retak disesuaikan dengan aturan dari ABS Fatigue Assesment of Offshore Structure 2003, sebagaimana pada tabel 3.7 berikut:

Tabel 3.9 Dimensi Retak

Panjang retak	0,5 mm
a/2c	0,15
Lebar radius retak	1 mm

- **Data Tanah**

Data tanah yang digunakan diambil dari Independen Structural Analysis of Bekapai Flare Support yang dilaksanakan oleh PT. Wide and Pin. Daya dukung tanah ditampilkan pada Tabel 3.8.

Tabel 3.10 Daya Dukung Tanah

Kedalaman (ft)	Compression (K ips)	Tension (K ips)
50	100	90
100	250	240
150	470	460
200	750	740
250	1000	900
300	1400	1300

Sumber: (PT. Total E&P INDONESIA, 2014)

BAB 4

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur Bekapai FS platform yang dilakukan dalam Tugas Akhir ini adalah dengan menggunakan bantuan *software* SACS 5.6. Elevasi, member properties, orientasi arah platform dan beban disesuaikan menurut laporan *service life extension report fs platform* No dokumen: ID-BKP-SOME-10550590008 milik PT.TOTAL E&P INDONESIA. Pemodelan struktur ini menginputkan ketebalan marine growth sesuai ketebalan dan elevasi masing masing sehingga hasil umur kelelahan akan dihitung mulai dari tahun 2014. Berikut model platform yang telah dibuat pada Gambar 4.1:



Gambar 4.1. Pemodelan Struktur Menggunakan SACS

Model SACS ini dilakukan validasi dengan membandingkan berat struktur dan posisi center of gravity dengan dokumen dari PT TOTAL. Untuk mengetahui validasi berat struktur dapat dilihat pada Tabel 4.1 sebagai berikut:

Tabel 4.1 Validasi Berat Struktur

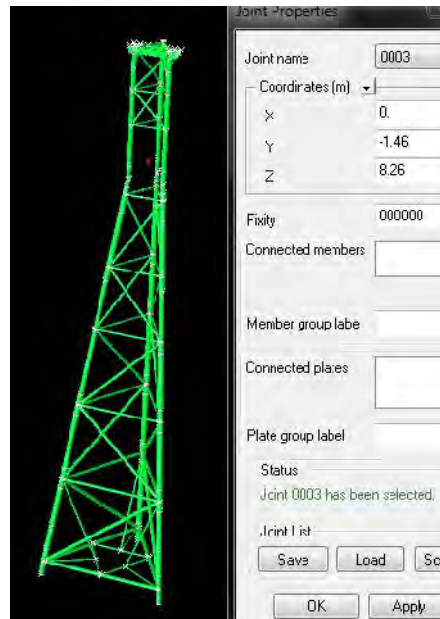
MODEL (KN)	REPORT (KN)	SELISIH (%)
851.2	852.78	0.001

Untuk validasi letak center of gravity antara model SACS dengan dokumen dapat dilihat pada Tabel 4.2 sebagai berikut:

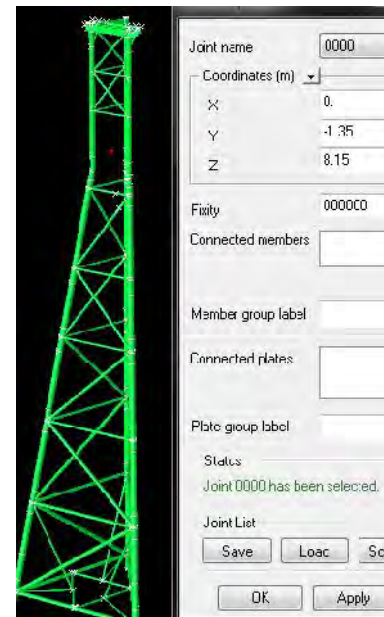
Tabel 4.2 Validasi Cog Struktur

MODEL	X	Y	Z
REPORT	0	-1.46	8.26
SACS	0	-1.35	8.15

Untuk posisi center of gravity pada pemodelan dengan kondisi operasi dapat dilihat pada Gambar 4.2 dan Gambar 4.3 berikut:



Gambar 4.2 Posisi COG data report



Gambar 4.3 Posisi COG hasil modeling

Validasi menunjukkan untuk berat struktur terdapat selisih sebesar 0.001% dan letak center of gravity terdapat perbedaan sebesar 0.1%.

4.2 Analisa *Inplace*

Setelah struktur dimodelkan, maka dilakukan analisa *inplace*. Pada analisa ini dilakukan pengecekan terhadap ketahanan struktur akibat beban statis. Beban-beban yang dimasukkan dalam analisa ini antara lain beban hidup, beban mati (*anode*, *grating*, *handrail*, *padeye*) dan beban *flare*. Karena ditinjau pada masing masing jointcan, maka pada analisa ini didapatkan nilai *unity check* masing masing joint. Berikut hasil dari analisa jointcan disajikan pada Tabel 4.3:

Tabel 4.3 Unity Check Joint

JOINT	UC
602L	0.239
601L	0.199
603L	0.188
503L	0.143
502L	0.134

Hasil dari analisa *inplace* didapatkan bahwa pada joint 602 L memiliki UC paling besar bernilai 0.239 sehingga pada joint ini kemungkinan memiliki umur kelelahan paling kecil

4.3 Periode Natural

Dalam menentukan joint lokal yang akan ditinjau untuk analisa perpanjangan umur, penelitian menggunakan analisa cumulative damage secara global terlebih dahulu. Dalam menentukan teori fatigue cumulative damage dapat ditinjau melalui periode natural. Sehingga dilakukan analisis *dynamic extract modeshape* dan didapatkan periode natural pada Tabel 4.4 sebagai berikut:

Tabel 4.4 Periode Natural

MODE	FREQ.(CPS)	GEN. MASS	EIGENVALUE	PERIOD(SECS)
1	0.257507	8.4231462E+02	3.8200032E-01	3.8833966
2	0.268661	9.2027437E+02	3.5093947E-01	3.7221681
3	0.574686	5.6025390E+02	7.6697111E-02	1.7400807
4	1.591523	1.5222960E+02	1.0000326E-02	0.6283288
5	1.659952	1.1278716E+02	9.1928305E-03	0.6024271
6	2.831487	1.7476386E+02	3.1594467E-03	0.3531713
7	2.934946	1.2344403E+02	2.9406282E-03	0.3407218
8	3.787895	1.0632566E+02	1.7654055E-03	0.2639989
9	5.439788	8.8792527E+01	8.5600499E-04	0.1838307
10	5.615366	9.1513167E+01	8.0331166E-04	0.1780828
11	5.657673	7.2309929E+01	7.9134260E-04	0.1767511
12	7.856827	1.0434818E+02	4.1034194E-04	0.1272779
13	8.224616	1.6280076E+02	3.7446308E-04	0.1215862
14	8.790707	9.8469305E+01	3.2778767E-04	0.1137565
15	8.905718	1.0208299E+02	3.1937608E-04	0.1122874
16	9.420565	1.2896841E+01	2.8542129E-04	0.1061507
17	10.399982	8.1931368E+01	2.3419361E-04	0.0961540
18	11.641487	9.6628461E+01	1.8690602E-04	0.0858997
19	11.882412	8.8575842E+01	1.7940355E-04	0.0841580
20	12.363636	9.6200879E+00	1.6570965E-04	0.0808824

Dengan nilai periode natural sebesar 3.8 detik dan hasil tersebut menunjukkan lebih dari 3 detik, maka dalam penelitian ini menggunakan Teori Spektral

4.4 Analisa Fatigue Cumulative Damage

Analisa *fatigue* ini menghapuskan beban lingkungan dan membuat model seastate setiap arah gelombang. Data kejadian gelombang diinputkan dalam analisa fatigue spektral dan didapatkan umur kelelahan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.5 sebagai berikut:

Tabel 4.5 Umur Kelelahan Joint Kritis

Joint	Member	Service life
602L	502L – 602L	101.36
601L	601L – 602L	161.08
602L	602L – 702L	176
602L	602L – 603L	196.7

Menggunakan persamaan Miner, hasil umur setiap variasi akan dirubah dari tahun ke *cycle*.

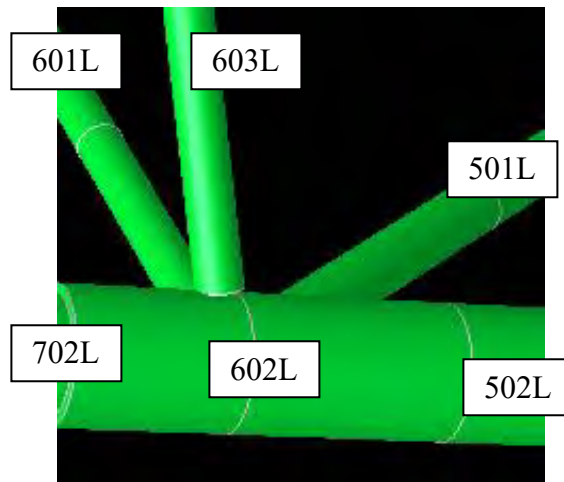
Umur kelelahan = _____

Damage Ratio (D) = _____

Tabel 4.6 Umur Kelelahan Dalam *Cycle*

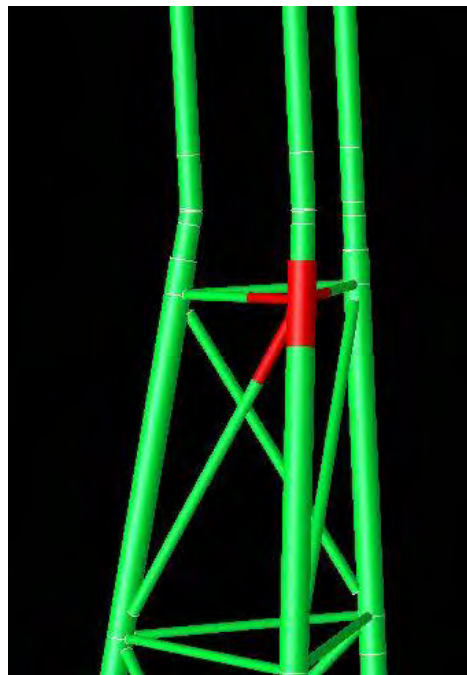
Joint	Member	Service life	Damage	<i>cycle</i>
602L	502L – 602L	101.36	0.197316496	1059937646
601L	601L – 602L	161.08	0.124161907	1684439188
602L	602L – 702L	176	0.113636364	1840460002
602L	602L – 603L	196.7	0.101677682	2056923195

Berdasarkan running analisa fatigue didapatkan tiga member kritis berada pada joint 602L, dimana pada joint ini memiliki UC paling besar. Oleh karena itu dimodelkan secara lokal joint 602L untuk dianalisa secara Mekanika Kepecahan seperti pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Posisi Member Kritis

Berikut adalah penampang melintang multiplanar KT joint pada joint 602 L sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5. Multiplanar Joint

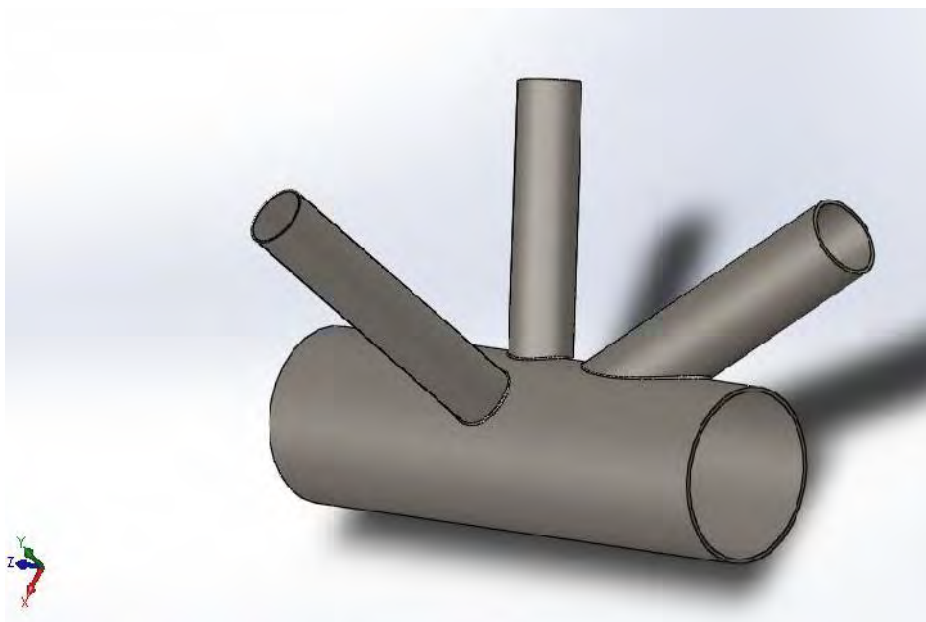
4.5 Pemodelan Joint Kritis

Berdasarkan hasil dari running fatigue, joint yang paling kritis dimodelkan secara lokal menggunakan aplikasi SOLID WORK. Joint 602L berada pada sambungan antara chord 702L dengan 502L dan dihubungkan dengan brace 601L, 603L, dan 501L. Setiap member memiliki dimensi yang berbeda beda sesuai desain yang telah dibuat. Berikut tabel data dimensi tubular setiap member yang ditinjau tersaji pada Tabel 4.7:

Tabel 4.7 Dimensi Member Joint Yang Ditinjau

MEMBER	OUTSIDE DIAMETER (cm)	WALL THICKNESS (cm)
602L - 702L	60.36	1.605
602L - 502L	60.36	1.605
602L - 601L	21.367	0.682
602L - 603L	21.367	0.682
602L - 501L	26.765	1.556

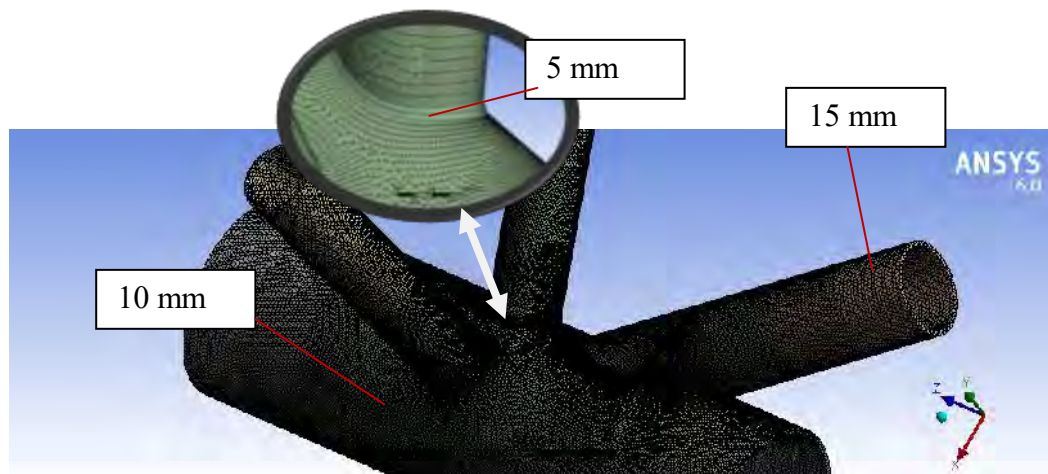
Berdasarkan data dimensi yang telah didapatkan dan joint joint yang ditinjau maka dimodelkan pada aplikasi SolidWork. Daerah sambungan fillet joint berbentuk toe fillet dengan ukuran sebesar 0.1 inc sesuai code AWS D1.1 D1.1M-2010. Berikut hasil pemodelan lokal menggunakan *software* Solid Work pada Gambar 4.6:



Gambar 4.6 Pemodelan lokal joint kritis

4.6 Meshing Joint Kritis

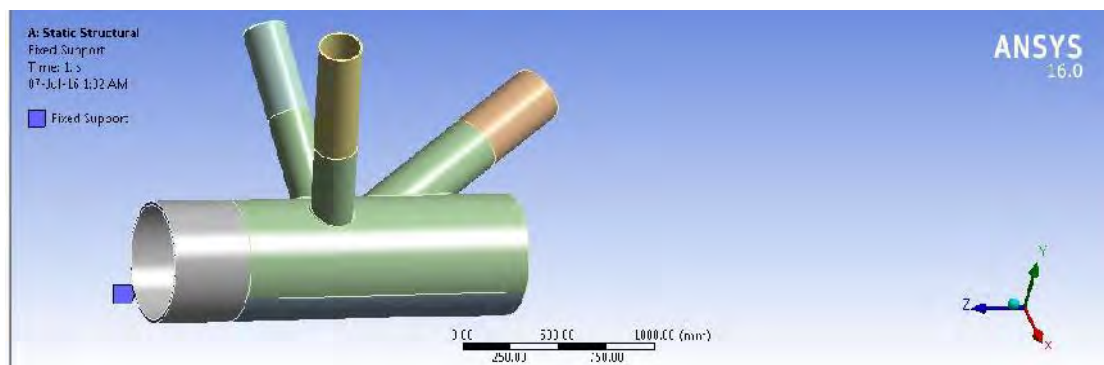
Dalam analisa menggunakan Metode Elemen Hingga, bentuk geometri harus dilakukan meshing menjadi bagian bagian kecil sesuai dengan mode meshing yang diinginkan. Dalam penelitian ini digunakan meshing berbentuk *tetragonal* dikarenakan dalam pembentukan model retak dalam *software* ANSYS hanya bisa *digenerate* dengan meshing tipe tetragonal. Untuk *mesh sizing* digunakan ukuran 5 mm, 10 mm, 15 mm dan lebih terkonsentrasi pada daerah las lasan seperti pada Gambar 4.7:



Gambar 4.7. Hasil meshing joint kritis

4.7 Kondisi Batas dan Pembebanan

Pemberian kondisi batas berupa tumpuan yang berada pada ujung bagian chord. Kondisi batas ini berupa fixed support dan displacement. Fixed support diaplikasikan pada ujung chord 702L ditunjukkan pada Gambar 4.8.



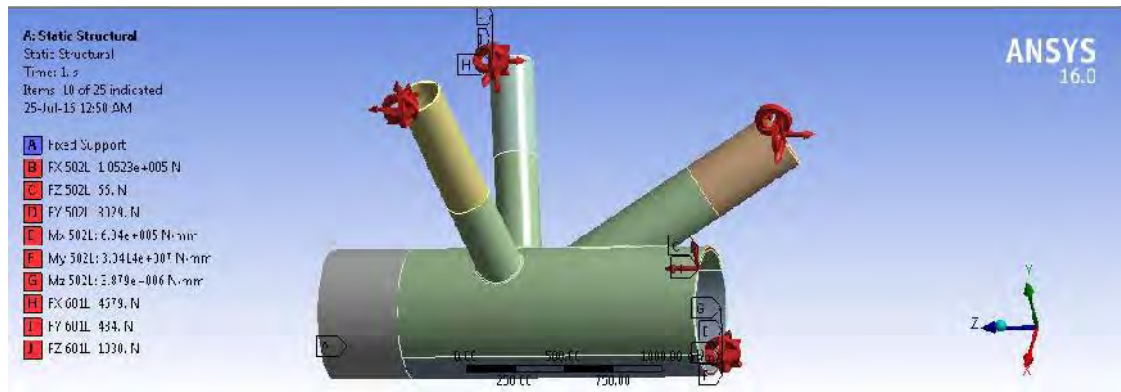
Gambar 4.8 Fixed support pada chord

Setelah pemberian kondisi batas, dimasukkan pembebanan pada setiap bagian brace dan chord seperti pada Gambar 4.9. Nilai gaya yang dimasukkan berdasarkan dari hasil running *inplace* berupa gaya dan momen pada ujung. Besar gaya dan momen disesuaikan dengan panjang brace dan chord pada model lokal. Pada penelitian ini menggunakan kondisi gelombang yang paling dominan pada data sebaran gelombang yaitu tinggi gelombang 0,5 m dengan periode 3.8 detik. Dari data sebaran gelombang tersebut ditinjau kondisi yang menghasilkan tegangan maksimum dan minimum. Puncak gelombang menjadi kondisi maksimum dan lembah gelombang menjadi kondisi minimum. Gaya-gaya dan momen yang bekerja pada saat kondisi minimum ditunjukkan pada Tabel 4.8 dan Gambar 4.9 sebagai berikut:

Tabel 4.8 Pembebanan Minimum Tiap Member

Member	Mx	My	Mz	Fx	Fy	Fz
602L - 502L	-0.634	-30.414	3.879	-105.323	0.066	-8.029
602L - 601L	0.013	-0.316	-0.918	-4.679	-0.484	-1.03
602L - 603L	0.039	2.435	-0.498	-75.336	-0.199	0.548
602L - 501L	-0.297	-0.877	0.92	9.03	0.194	-1.597

*) Momen dalam satuan KN.m dan gaya KN



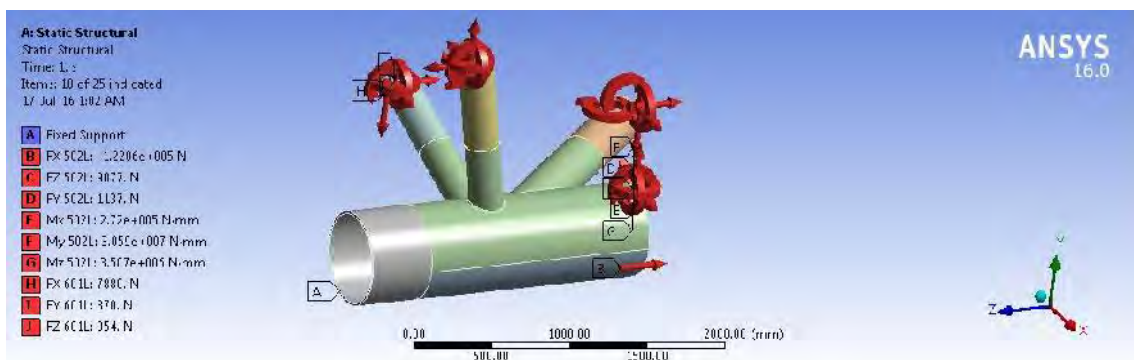
Gambar 4.9 Pembebanan dan Kondisi Batas

Sedangkan gaya dan momen yang bekerja pada saat kondisi maximum ditunjukkan pada Tabel 4.9 dan Gambar 4.10 sebagai berikut:

Tabel 4.9 Pembebanan Maksimum Tiap Member

Member	Mx	My	Mz	Fx	Fy	Fz
602L - 502L	0.272	-30.59	3.507	-122.055	-1.137	-9.077
602L - 601L	0.045	-0.176	-1.592	-7.88	-0.87	-0.954
602L - 603L	0.067	2.281	-0.885	-77.98	-0.344	0.458
602L - 501L	-0.19	-1.987	-0.385	24.043	-0.311	-2.401

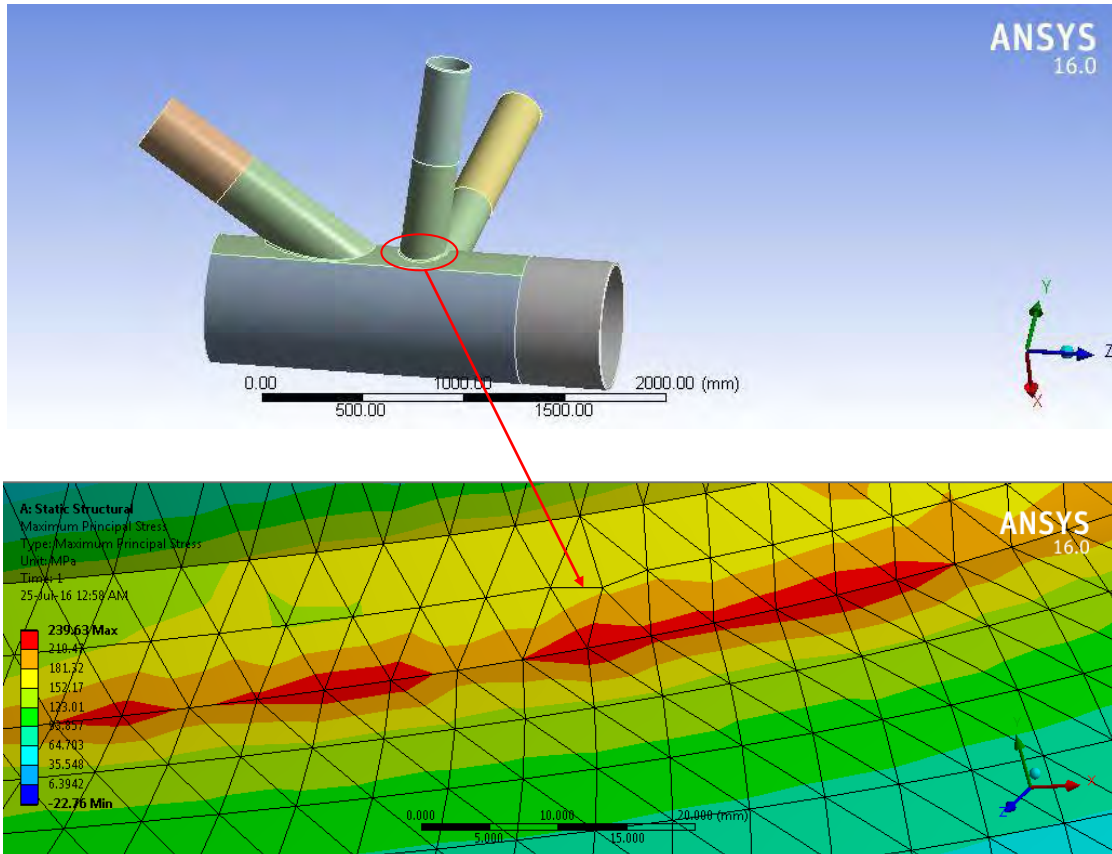
*) Momen dalam satuan KN.m dan gaya KN



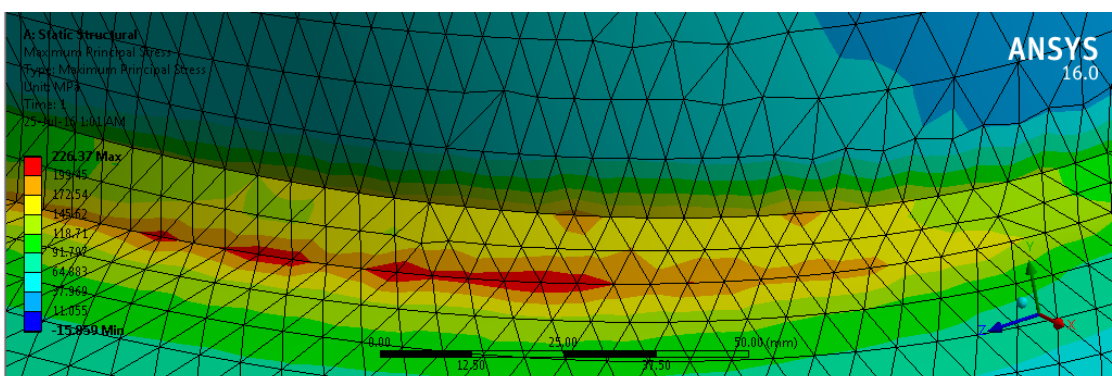
Gambar 4.10 Pembebanan dan Kondisi Batas

4.8 Posisi Retak

Posisi retak awal terdapat pada konsentrasi tegangan atau yang disebut hot spot stress. Hot spot stress pada joint lokal ini didapatkan melalui perhitungan maximum principal stress. Principal stress merupakan penjumlahan tegangan normal dan tegangan geser. Perhitungan dilakukan pada masing-masing kondisi seperti yang terlihat pada Gambar 4.11 untuk kondisi maksimum dan Gambar 4.12 untuk kondisi minimum:



Gambar 4.11 Letak Hot spot stress kondisi maksimum



Gambar 4.12 Letak Hot spot stress kondisi minimum

Dari hasil analisa maximum principal stress tersebut didapatkan tegangan paling besar untuk kondisi maksimum bernilai 239.63 MPa. Sedangkan dari hasil perhitungan untuk kondisi minimum didapatkan nilai sebesar 226.37 MPa. Hasil tersebut dibawah

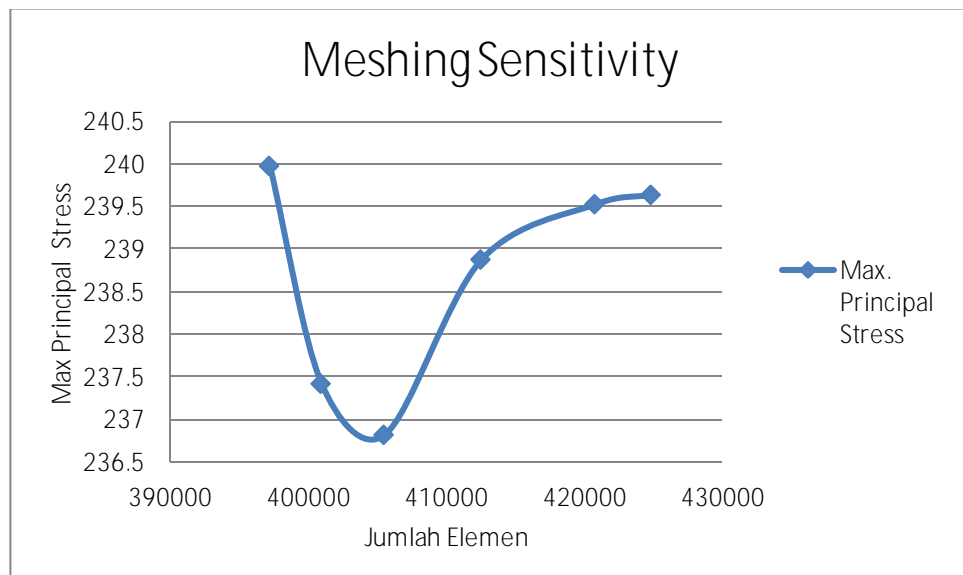
dari yield stress baja A36 sebesar 250 MPa. Hal ini membuktikan bahwa dalam analisa mekanika kepecahan menggunakan metode *linier elastic fracture mechanic*.

4.9 Meshing Sensitivity

Ukuran meshing berpengaruh terhadap ketelitian perhitungan metode elemen hingga. *Meshing sensitivity* digunakan untuk mengetahui perubahan yang terjadi berdasarkan *meshing* yang digunakan. Semakin banyak jumlah elemen pembagi maka semakin kecil nilai kesalahan dari analisa yang dilakukan. *Meshing sensitivity* dilakukan pada kondisi pembebanan maksimum. Hasil *meshing sensitivity* tertera pada Tabel 4.10 dan Gambar 4.13.

Tabel 4.10 Meshing Sensitivity

Mesh size	Jumlah Elemen	Max. Principal Stress
5	424842	239.63
6	420775	239.52
7	412509	238.87
8	405492	236.81
9	400926	237.41
10	397183	239.97



Gambar 4.13 Kurva Meshing Sensitivity

4.10 Penentuan Titik Retak

Dikarenakan keterbatasan dari software ANSYS yang tidak bisa memodelkan retak pada daerah las lasan maka dipilih 4 titik terdekat sepanjang daerah kritis. Titik tersebut diasumsikan mewakili daerah tegangan maksimum yang terjadi. Pada model ANSYS keempat titik tersebut berada pada koordinat sesuai yang disajikan pada Tabel 4.11 sebagai berikut:

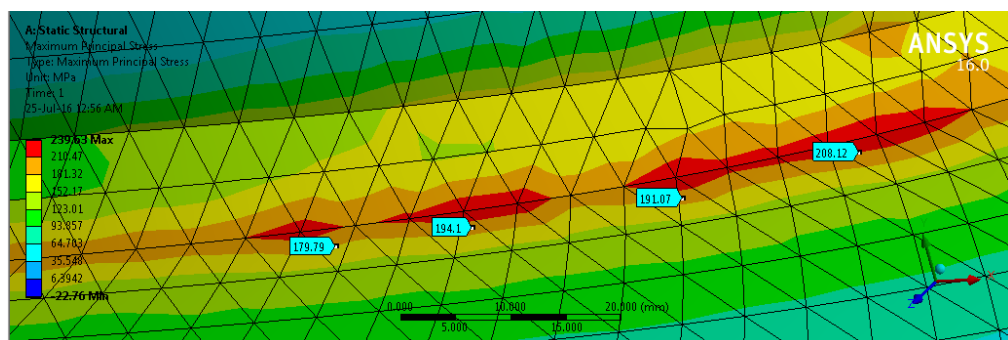
Tabel 4.11 Koordinat Titik Acuan

TITIK	X	Y	Z
I	64.773	311.09	170.76
II	73.953	309.07	162.24
III	86.028	305.93	151.14
IV	98.666	302.07	135

Keempat titik tersebut memiliki tegangan yang berbeda beda diperlihatkan pada Tabel 4.12 dan Gambar 4.14

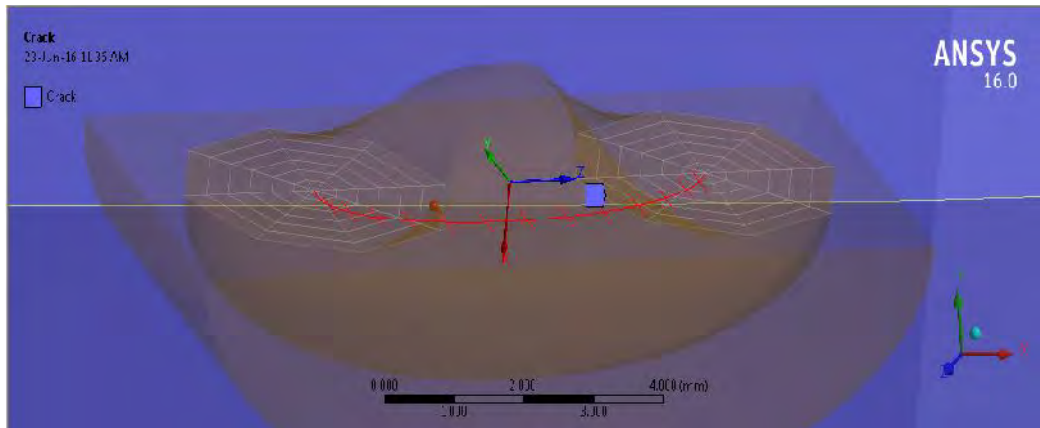
Tabel 4.12 Tegangan Tiap Titik Acuan

TITIK	TEGANGAN (MPa)
I	179.79
II	194.1
III	191.07
IV	200.12



Gambar 4.14 Titik Acuan beserta Teganganya

Pada titik tersebut dimodelkan retak semi elip dengan a awal sebesar 0,5 mm dan panjang retak 3,33 mm seperti pada Gambar 4.15.



Setelah memodelkan retak, dengan menggunakan ANSYS akan degenerate meshing sehingga dapat dilakukan analisa numeric seperti terlihat pada gambar 4.16 sebagai berikut:

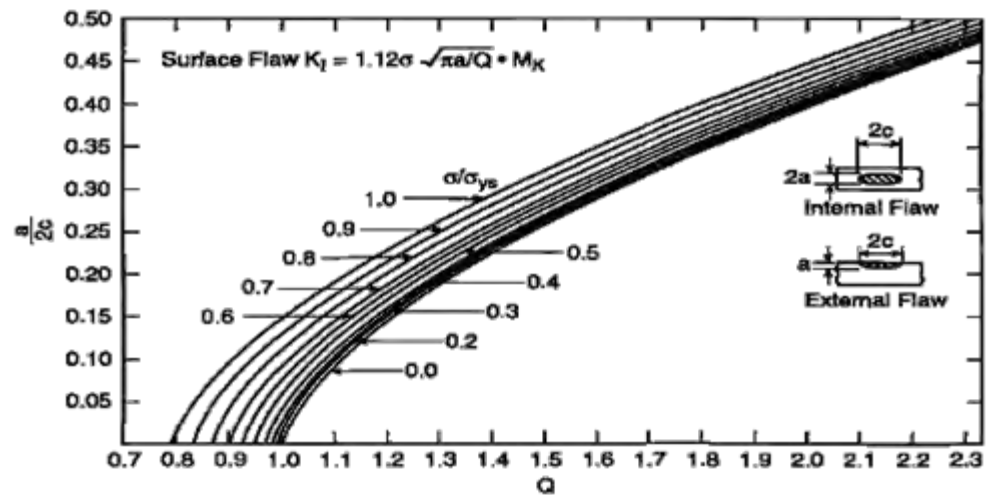
Setelah dimodelkan retak, pada keempat titik tersebut dihitung SIF dan divalidasi secara perhitungan manual. Dengan rumus SIF Barsom:

Mk merupakan faktor koreksi *back free surface*. Apabila $a/t < 0.5$ maka faktor koreksi Mk bernilai 1.

Pada join lokal ini, $a = 0,5$ mm dan $t = 16.05$ mm,

$a/t = 0.03$ dan $a/t < 0.5$, maka $M_k = 1$

untuk faktor koreksi *front free surface* Q menggunakan grafik pada Gambar 4.17:



Gambar 4.17 Gravik Parameter Q

Didapatkan hasil SIF perhitungan manual pada Tabel 4.13 sebagai berikut:

Tabel 4.13 SIF Tiap Titik Acuan

Mm	mm	a/2c	nom	nom / σ_s	Q	MPa (mm ^{0.5})
a	2c					SIF MANUAL
0.5	3.33	0.15015	179.79	0.71916	1.1	240.5675464
0.5	3.333333	0.15	194.1	0.7764	1.1	259.715005
0.5	3.333333	0.15	191.07	0.76428	1.1	255.6607213
0.5	3.333333	0.15	200.12	0.80048	1.08	270.2380294

Hasil perhitungan manual dibandingkan dengan hasil SIF perhitungan ANSYS ditampilkan pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14 Validasi Titik Acuan

TITIK	SIF manual	SIF ANSYS	Error (%)
I	240.5675464	252.36	4.67287
II	259.715005	276.87	6.196047
III	255.6607213	274.55	6.880087
IV	270.2380294	290.86	7.089999

Didapatkan pada titik no I memiliki error dibawah 5%, sehingga analisa selanjutnya dilakukan pada titik tersebut.

4.11 Perhitungan Kedalaman Kritis

Untuk mengetahui kedalaman retak maksimal yang mampu ditahan baja A36 dihitung menggunakan rumus:

Dengan nilai

$$KIC = 81 \text{ ksi} \cdot \sqrt{\text{in}} = 2814,318 \text{ MPa} \cdot \sqrt{\text{mm}}$$

$$= 239.63 \text{ Mpa}$$

Didapatkan,

Sehingga apabila retak mencapai kedalaman 43,92 mm struktur yang ditinjau tersebut akan mengalami kegagalan. Namun, untuk tubular ini hanya memiliki ketebalan 14 mm sehingga akan dihitung sampai kedalaman tersebut.

4.12 Perhitungan SIF

Perhitungan SIF menggunakan *software* numerik ANSYS, retak dimodelkan dari kedalaman 0,5 hingga 14 mm dengan panjang retak menyesuaikan perbandingan $a/2c$ bernilai 0,15. Perhitungan SIF dilakukan masing masing kondisi maksimum dan minimum. Nilai SIF yang dihasilkan merupakan SIF mode I dimana mempertimbangkan beban tarik aksial dalam reaksi *opening mode* pada retak yang terjadi. Hasil running SIF pada *surface crack* ditampilkan pada Tabel 4.15 berikut:

Tabel 4.15 Hasil SIF Numerik ANSYS

mm a_o	mm a_f	inc a_o	inc a_f	inc $a_{average}$	inc $2c$	SIF kondisi maksimum (ksi \sqrt{inc})	SIF kondisi minimum (ksi \sqrt{inc})
0.5	0.75	0.019685	0.03937	0.029528	0.196851	7.836	6.7665
1	1.5	0.03937	0.059055	0.049213	0.328084	9.519	8.3415
1.5	2	0.059055	0.07874	0.068898	0.459318	10.856	9.6478
2	2.5	0.07874	0.098425	0.088583	0.590552	11.535	10.435
2.5	3	0.098425	0.11811	0.108268	0.721785	12.335	11.312
3	3.5	0.11811	0.137795	0.127953	0.853019	12.816	11.74
3.5	4	0.137795	0.15748	0.147638	0.984253	13.256	11.917
4	4.5	0.15748	0.177165	0.167323	1.115486	14.06	12.572
4.5	5	0.177165	0.196851	0.187008	1.24672	14.43	12.959
5	5.5	0.196851	0.216536	0.206693	1.377954	14.716	13.274
5.5	6	0.216536	0.236221	0.226378	1.509187	15.003	13.615
6	6.5	0.236221	0.255906	0.246063	1.640421	15.419	13.823
6.5	7	0.255906	0.275591	0.265748	1.771655	15.531	14.152
7	7.5	0.275591	0.295276	0.285433	1.902888	15.858	14.606
7.5	8	0.295276	0.314961	0.305118	2.034122	16.139	14.645
8	8.5	0.314961	0.334646	0.324803	2.165356	16.16	15.073
8.5	9	0.334646	0.354331	0.344488	2.296589	16.498	15.426
9	9.5	0.354331	0.374016	0.364173	2.427823	16.595	15.685
9.5	10	0.374016	0.393701	0.383858	2.559057	17.124	16.183
10	10.5	0.393701	0.413386	0.403544	2.69029	17.552	16.517
10.5	11	0.413386	0.433071	0.423229	2.821524	17.882	16.595

11	11.5	0.433071	0.452756	0.442914	2.952758	18.118	16.888
11.5	12	0.452756	0.472441	0.462599	3.083991	18.531	17.376
12	12.5	0.472441	0.492126	0.482284	3.215225	18.612	17.451
12.5	13	0.492126	0.511811	0.501969	3.346459	19.126	17.801
13	13.5	0.511811	0.531496	0.521654	3.477692	19.425	17.939
13.5	14	0.531496	0.551181	0.541339	3.608926	19.599	18.075

Selain menggunakan bantuan *software* numeric, perhitungan juga dilakukan secara analytical menggunakan rumus SIF Barsom sebagai berikut:

$$\frac{\Delta}{\Delta_{max}} = \frac{SIF}{SIF_{max}}$$

Perhitungan SIF dilakukan masing masing kondisi maksimum dan minimum pada titik acuan. Kondisi maksimum menggunakan tegangan sebesar 239.63 MPa atau 34.74 ksi dan kondisi minimum memiliki tegangan maksimum sebesar 226.37 MPa atau 32.82 ksi.

- Langkah pertama menghitung faktor koreksi *front free surface* (Q), dengan cara sebagai berikut:

$$\Delta = 34.74 - 32.82$$

$$\Delta = 1.9227$$

$$y_s = 36 \text{ ksi}$$

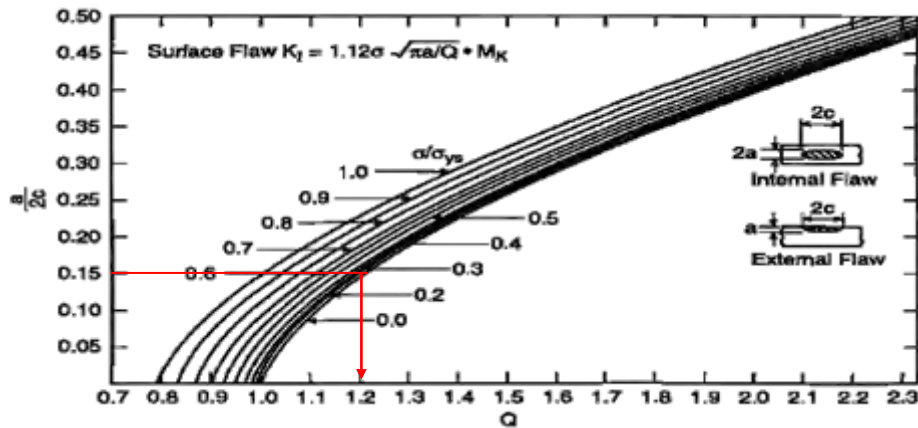
$$Q = \frac{\Delta}{y_s}$$

Sedangkan untuk perhitungan nilai $a/2c$ sebagai berikut:

$$\frac{a}{2c} = \frac{Q}{1.12}$$

Nilai $a/2c$ dipilih 0.15 dikarenakan menurut percobaan pada laboratorium nilai tersebut menghasilkan nilai *Stress intensity factor* yang paling tepat.

Setelah itu, faktor koreksi Q didapatkan dari grafik perbandingan $a/2c$ dan Δ / y_s



$$Q = 1.2$$

Didapatkan faktor koreksi *front free surface* sebesar 1.2.

- Langkah kedua menghitung faktor koreksi *back free surface* (M_k)
 Nilai faktor koreksi *back free surface* bergantung pada perbandingan kedalaman retak dengan tebal dinding chord (a/t). Apabila nilai $a/t < 5$, maka faktor koreksi M_k bernilai 1, apabila tidak dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

— —

- Setelah menghitung faktor koreksi, kedalaman retak diinput pada rumus SIF untuk surface crack. Hasil Perhitungan secara analytical ditunjukkan pada Tabel 4.16

Tabel 4.16 Hasil SIF Analytical

mm	mm	inc	inc	inc	inc	Mk	SIF (ksi/inc)
a_o	a_f	a_o	a_f	$a_{average}$	$2c$		
0.5	0.75	0.019685	0.03937	0.029528	0.196851	1	5.99E-01
1	1.5	0.03937	0.059055	0.049213	0.328084	1	7.73E-01
1.5	2	0.059055	0.07874	0.068898	0.459318	1	9.14E-01
2	2.5	0.07874	0.098425	0.088583	0.590552	1	1.04E+00
2.5	3	0.098425	0.11811	0.108268	0.721785	1	1.15E+00
3	3.5	0.11811	0.137795	0.127953	0.853019	1	1.25E+00
3.5	4	0.137795	0.15748	0.147638	0.984253	1	1.34E+00
4	4.5	0.15748	0.177165	0.167323	1.115486	1	1.42E+00
4.5	5	0.177165	0.196851	0.187008	1.24672	1	1.51E+00
5	5.5	0.196851	0.216536	0.206693	1.377954	1	1.58E+00
5.5	6	0.216536	0.236221	0.226378	1.509187	1	1.66E+00
6	6.5	0.236221	0.255906	0.246063	1.640421	1	1.73E+00
6.5	7	0.255906	0.275591	0.265748	1.771655	1	1.80E+00
7	7.5	0.275591	0.295276	0.285433	1.902888	1	1.86E+00
7.5	8	0.295276	0.314961	0.305118	2.034122	1	1.92E+00
8	8.5	0.314961	0.334646	0.324803	2.165356	1	1.99E+00

8.5	9	0.334646	0.354331	0.344488	2.296589	1.035514019	2.12E+00
9	9.5	0.354331	0.374016	0.364173	2.427823	1.072897196	2.26E+00
9.5	10	0.374016	0.393701	0.383858	2.559057	1.110280374	2.40E+00
10	10.5	0.393701	0.413386	0.403544	2.69029	1.147663551	2.54E+00
10.5	11	0.413386	0.433071	0.423229	2.821524	1.185046729	2.69E+00
11	11.5	0.433071	0.452756	0.442914	2.952758	1.222429907	2.83E+00
11.5	12	0.452756	0.472441	0.462599	3.083991	1.259813084	2.98E+00
12	12.5	0.472441	0.492126	0.482284	3.215225	1.297196262	3.14E+00
12.5	13	0.492126	0.511811	0.501969	3.346459	1.334579439	3.29E+00
13	13.5	0.511811	0.531496	0.521654	3.477692	1.371962617	3.45E+00
13.5	14	0.531496	0.551181	0.541339	3.608926	1.409345794	3.61E+00

Setelah didapatkan nilai SIF secara numeric maupun analytical, akan dihitung laju perambatan retak dan umur kelelahan masing masing analisis.

4.13 Perhitungan Laju Perambatan Retak Numerik

Dalam perhitungan laju perambatan retak menggunakan persamaan untuk material *ferrite perlite* sebagai berikut:

—

Hasil perhitungan laju perambatan retak ditunjukkan pada Tabel 4.17 berikut:

Tabel 4.17 Hasil Perhitungan Laju Rambat Retak

mm	mm	inc	inc	inc	inc	SIF (ksi√inc)	—
a_o	a_f	a_o	a_f	$a_{average}$	$2c$		
0.5	0.75	0.019685	0.03937	0.029528	0.196851	1.0695	4.40398E-10
1	1.5	0.03937	0.059055	0.049213	0.328084	1.1775	5.8774E-10
1.5	2	0.059055	0.07874	0.068898	0.459318	1.2082	6.3492E-10
2	2.5	0.07874	0.098425	0.088583	0.590552	1.1	4.7916E-10
2.5	3	0.098425	0.11811	0.108268	0.721785	1.023	3.85416E-10
3	3.5	0.11811	0.137795	0.127953	0.853019	1.076	4.48476E-10
3.5	4	0.137795	0.15748	0.147638	0.984253	1.339	8.6426E-10
4	4.5	0.15748	0.177165	0.167323	1.115486	1.488	1.18607E-09
4.5	5	0.177165	0.196851	0.187008	1.24672	1.471	1.14588E-09
5	5.5	0.196851	0.216536	0.206693	1.377954	1.442	1.07944E-09
5.5	6	0.216536	0.236221	0.226378	1.509187	1.388	9.62656E-10
6	6.5	0.236221	0.255906	0.246063	1.640421	1.596	1.46353E-09
6.5	7	0.255906	0.275591	0.265748	1.771655	1.379	9.44051E-10
7	7.5	0.275591	0.295276	0.285433	1.902888	1.252	7.06505E-10
7.5	8	0.295276	0.314961	0.305118	2.034122	1.494	1.20048E-09
8	8.5	0.314961	0.334646	0.324803	2.165356	1.087	4.62372E-10
8.5	9	0.334646	0.354331	0.344488	2.296589	1.072	4.43493E-10
9	9.5	0.354331	0.374016	0.364173	2.427823	0.91	2.71286E-10

9.5	10	0.374016	0.393701	0.383858	2.559057	0.941	2.99966E-10
10	10.5	0.393701	0.413386	0.403544	2.69029	1.035	3.99138E-10
10.5	11	0.413386	0.433071	0.423229	2.821524	1.287	7.67429E-10
11	11.5	0.433071	0.452756	0.442914	2.952758	1.23	6.69912E-10
11.5	12	0.452756	0.472441	0.462599	3.083991	1.155	5.54688E-10
12	12.5	0.472441	0.492126	0.482284	3.215225	1.161	5.63377E-10
12.5	13	0.492126	0.511811	0.501969	3.346459	1.325	8.37433E-10
13	13.5	0.511811	0.531496	0.521654	3.477692	1.486	1.1813E-09
13.5	14	0.531496	0.551181	0.541339	3.608926	1.524	1.27426E-09

4.14 Perhitungan Umur Struktur hasil Numerik ANSYS

Perhitungan umur struktur menggunakan rumus:

Dengan memasukkan persamaan dari Paris Law didapatkan:

Setelah mendapatkan semua nilai parameter keretakan yaitu ΔK_I , C, dan m dihitung umur kelelahan menggunakan persamaan tersebut. Pada tugas akhir ini menggunakan *increment crack growth* sebesar 0,5 mm. Berikut hasil umur kelelahan seperti diperlihatkan pada Tabel 4.18

Tabel 4.18 Hasil Perhitungan Umur Numerik

mm	mm	inc	inc	inc	ΔSIF (ksi \sqrt{in})	N (cycle)
a_o	a_f	a_o	a_f	$a_{average}$		
0.5	0.75	0.019685	0.03937	0.029528	1.0695	4.47E+07
1	1.5	0.03937	0.059055	0.049213	1.1775	3.35E+07
1.5	2	0.059055	0.07874	0.068898	1.2082	3.10E+07
2	2.5	0.07874	0.098425	0.088583	1.1	4.11E+07
2.5	3	0.098425	0.11811	0.108268	1.023	5.11E+07
3	3.5	0.11811	0.137795	0.127953	1.076	4.39E+07
3.5	4	0.137795	0.15748	0.147638	1.339	2.28E+07
4	4.5	0.15748	0.177165	0.167323	1.488	1.66E+07
4.5	5	0.177165	0.196851	0.187008	1.471	1.72E+07
5	5.5	0.196851	0.216536	0.206693	1.442	1.82E+07
5.5	6	0.216536	0.236221	0.226378	1.388	2.04E+07
6	6.5	0.236221	0.255906	0.246063	1.596	1.35E+07
6.5	7	0.255906	0.275591	0.265748	1.379	2.09E+07
7	7.5	0.275591	0.295276	0.285433	1.252	2.79E+07
7.5	8	0.295276	0.314961	0.305118	1.494	1.64E+07
8	8.5	0.314961	0.334646	0.324803	1.087	4.26E+07
8.5	9	0.334646	0.354331	0.344488	1.072	4.44E+07
9	9.5	0.354331	0.374016	0.364173	0.91	7.26E+07

9.5	10	0.374016	0.393701	0.383858	0.941	6.56E+07
10	10.5	0.393701	0.413386	0.403544	1.035	4.93E+07
10.5	11	0.413386	0.433071	0.423229	1.287	2.57E+07
11	11.5	0.433071	0.452756	0.442914	1.23	2.94E+07
11.5	12	0.452756	0.472441	0.462599	1.155	3.55E+07
12	12.5	0.472441	0.492126	0.482284	1.161	3.49E+07
12.5	13	0.492126	0.511811	0.501969	1.325	2.35E+07
13	13.5	0.511811	0.531496	0.521654	1.486	1.67E+07
13.5	14	0.531496	0.551181	0.541339	1.524	1.54E+07
ΣN						9.E+08

Didapatkan dari perhitungan secara numerik, jumlah umur kelelahan bernilai 9.E+08 *cycle* atau 83 tahun

4.15 Perhitungan Laju Perambatan Retak Analitikal

Dalam perhitungan laju perambatan retak menggunakan persamaan untuk material baja *ferrite perlite* sebagai berikut:

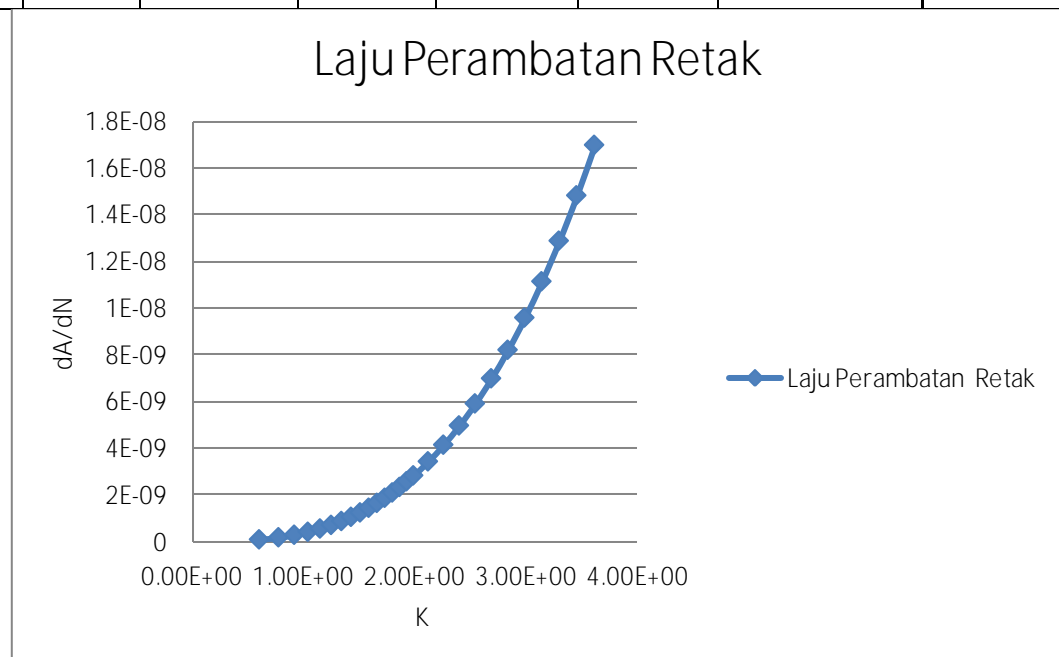
—

Untuk nilai ΔK menggunakan perhitungan SIF secara analitik. Hasil perhitungan laju perambatan retak ditunjukkan pada Tabel 4.19 berikut:

Tabel 4.19 Hasil Perhitungan Laju Rambat Retak

mm	mm	inc	inc	inc	inc	SIF (ksi $\sqrt{\text{inc}}$)	—
a_o	a_f	a_o	a_f	a_{average}	$2c$		
0.5	0.75	0.019685	0.03937	0.029528	0.196851	5.99E-01	7.72068E-11
1	1.5	0.03937	0.059055	0.049213	0.328084	7.73E-01	1.66123E-10
1.5	2	0.059055	0.07874	0.068898	0.459318	9.14E-01	2.75182E-10
2	2.5	0.07874	0.098425	0.088583	0.590552	1.04E+00	4.01178E-10
2.5	3	0.098425	0.11811	0.108268	0.721785	1.15E+00	5.42079E-10
3	3.5	0.11811	0.137795	0.127953	0.853019	1.25E+00	6.96448E-10
3.5	4	0.137795	0.15748	0.147638	0.984253	1.34E+00	8.63198E-10
4	4.5	0.15748	0.177165	0.167323	1.115486	1.42E+00	1.04147E-09
4.5	5	0.177165	0.196851	0.187008	1.24672	1.51E+00	1.23056E-09
5	5.5	0.196851	0.216536	0.206693	1.377954	1.58E+00	1.42989E-09
5.5	6	0.216536	0.236221	0.226378	1.509187	1.66E+00	1.63895E-09
6	6.5	0.236221	0.255906	0.246063	1.640421	1.73E+00	1.85731E-09
6.5	7	0.255906	0.275591	0.265748	1.771655	1.80E+00	2.08458E-09
7	7.5	0.275591	0.295276	0.285433	1.902888	1.86E+00	2.32044E-09

7.5	8	0.295276	0.314961	0.305118	2.034122	1.92E+00	2.56458E-09
8	8.5	0.314961	0.334646	0.324803	2.165356	1.99E+00	2.81673E-09
8.5	9	0.334646	0.354331	0.344488	2.296589	2.12E+00	3.4162E-09
9	9.5	0.354331	0.374016	0.364173	2.427823	2.26E+00	4.13E-09
9.5	10	0.374016	0.393701	0.383858	2.559057	2.40E+00	4.953E-09
10	10.5	0.393701	0.413386	0.403544	2.69029	2.54E+00	5.89648E-09
10.5	11	0.413386	0.433071	0.423229	2.821524	2.69E+00	6.97241E-09
11	11.5	0.433071	0.452756	0.442914	2.952758	2.83E+00	8.1934E-09
11.5	12	0.452756	0.472441	0.462599	3.083991	2.98E+00	9.57279E-09
12	12.5	0.472441	0.492126	0.482284	3.215225	3.14E+00	1.11246E-08
12.5	13	0.492126	0.511811	0.501969	3.346459	3.29E+00	1.28636E-08
13	13.5	0.511811	0.531496	0.521654	3.477692	3.45E+00	1.48052E-08
13.5	14	0.531496	0.551181	0.541339	3.608926	3.61E+00	1.69656E-08



Gambar 4.18 Laju Perambatan Retak

Berdasarkan Gambar 4.18 memperlihatkan bahwa laju perambatan retak meningkat relatif konstan. Dalam kurva perambatan retak range tersebut berada pada *region II* dimana perambatan-perambatan retak mulai terjadi.

4.16 Perhitungan Umur Kelelahan Secara Analytical

Perhitungan umur struktur menggunakan rumus:

Dengan memasukkan persamaan dari Paris Law didapatkan:

Setelah mendapatkan semua nilai parameter keretakan yaitu ΔK_I , C , dan m dihitung umur kelelahan menggunakan persamaan tersebut. Pada tugas akhir ini menggunakan *increment crack growth* sebesar 0,5 mm. Berikut hasil umur kelelahan seperti diperlihatkan pada Tabel 4.20:

Tabel 4.20 Perhitungan Umur Kelelahan Secara Analytical

inc	inc	inc	Mk	SIF (ksi $\sqrt{\text{inc}}$)	N (cycle)
a_o	a_f	a_{average}			
0.019685	0.03937	0.029528	1	7.72068E-11	2.55E+08
0.03937	0.059055	0.049213	1	1.66123E-10	1.18E+08
0.059055	0.07874	0.068898	1	2.75182E-10	7.15E+07
0.07874	0.098425	0.088583	1	4.01178E-10	4.91E+07
0.098425	0.11811	0.108268	1	5.42079E-10	3.63E+07
0.11811	0.137795	0.127953	1	6.96448E-10	2.83E+07
0.137795	0.15748	0.147638	1	8.63198E-10	2.28E+07
0.15748	0.177165	0.167323	1	1.04147E-09	1.89E+07
0.177165	0.196851	0.187008	1	1.23056E-09	1.60E+07
0.196851	0.216536	0.206693	1	1.42989E-09	1.38E+07
0.216536	0.236221	0.226378	1	1.63895E-09	1.20E+07
0.236221	0.255906	0.246063	1	1.85731E-09	1.06E+07
0.255906	0.275591	0.265748	1	2.08458E-09	9.44E+06
0.275591	0.295276	0.285433	1	2.32044E-09	8.48E+06
0.295276	0.314961	0.305118	1	2.56458E-09	7.68E+06
0.314961	0.334646	0.324803	1	2.81673E-09	6.99E+06
0.334646	0.354331	0.344488	1.035514019	3.4162E-09	5.76E+06
0.354331	0.374016	0.364173	1.072897196	4.13E-09	4.77E+06
0.374016	0.393701	0.383858	1.110280374	4.953E-09	3.97E+06
0.393701	0.413386	0.403544	1.147663551	5.89648E-09	3.34E+06
0.413386	0.433071	0.423229	1.185046729	6.97241E-09	2.82E+06
0.433071	0.452756	0.442914	1.222429907	8.1934E-09	2.40E+06
0.452756	0.472441	0.462599	1.259813084	9.57279E-09	2.06E+06
0.472441	0.492126	0.482284	1.297196262	1.11246E-08	1.77E+06

0.492126	0.511811	0.501969	1.334579439	1.28636E-08	1.53E+06
0.511811	0.531496	0.521654	1.371962617	1.48052E-08	1.33E+06
0.531496	0.551181	0.541339	1.409345794	1.69656E-08	1.16E+06
ΣN					8.16E+08

Didapatkan dari perhitungan secara numerik, jumlah umur kelelahan bernilai 8.16 E+08 *cycle* atau 78 tahun,

4.17 Perbandingan Hasil Perhitungan Umur Kelelahan Joint Tanpa Retak dengan Joint Memiliki Retak

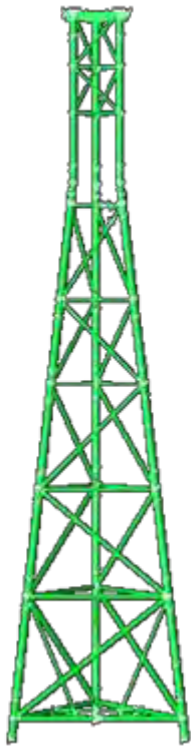
Hasil perhitungan umur kelelahan tubular tanpa retak menggunakan *cumulative damage* dibandingkan dengan perhitungan umur kelelahan tubular dengan retak menggunakan Mekanika Kepecahan tersaji pada Tabel 4.21.

Tabel 4.21 Perbandingan Hasil Umur Kelelahan

Metode		Jumlah Siklus Kegagalan (<i>cycle</i>)	Umur Kelelahan (tahun)
Cumulative Damage		2.05E+09	196
Mekanika Kepecahan	Analytical	8.16 E+08	78
	Numerik	9.E+08	83

Dari Tabel 4.21 terlihat bahwa perhitungan umur secara analitikal dan numerik memiliki selisih sebesar 7% dan dengan adanya retak mengakibatkan umur kelelahan berkurang sebesar 6.E+7 *cycle* atau 113 tahun.

A. Pemodelan Struktur Global
A1. Model Struktur



Gambar 1. Penampang XZ Front View



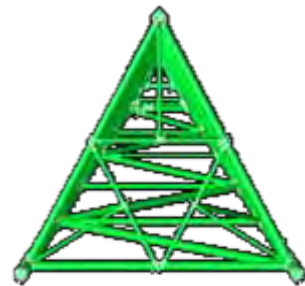
Gambar 2. Isometric View



Gambar 3. Penampang YZ Left View



Gambar 4. Penampang XY Top View



Gambar 5. Penampang XY Bottom View

A.2. Input Beban Lingkungan

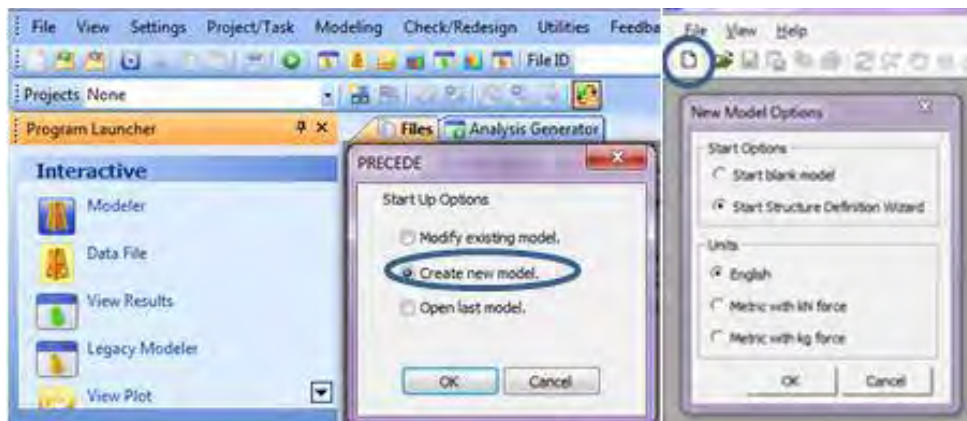
Load Label	Description	Fx (kips)	Fy (kips)	Fz (kips)
SWOX	Self Weight Operation	0	0	-484.9
BR	Bridge Load	0	-26.48	-662.1
LLST	Live Load	0	0	-7.102
MISC	Miscellaneous Load	0	0	-43.34
WAOA	Current 0 deg	114	2.3	-4.1
WAOB	Current 30 deg	102.2	29.2	-6.6
WAOC	Current 60 deg	73.8	44.1	-8.2
WAOD	Current 90 deg	40.5	43.8	-8.1
WAOE	Current 120 deg	59.9	-33.9	4.7
WAOF	Current 150 deg	81.2	-21.7	3.1
WAOG	Current 180 deg	90.2	-1.1	1
WAOH	Current 210 deg	82.6	21	-2.2
WAOJ	Current 240 deg	61	35.3	-4.2
WAOK	Current 270 deg	40.6	-48.1	4.3
WAOL	Current 300 deg	76.1	-46.1	2.9
WAOM	Current 330 deg	104.6	-28.1	1.6
WIOA	Wind 0 deg	4.4	0	0
WIOB	Wind 30 deg	3.8	2.8	-0.1
WIOC	Wind 60 deg	2.2	4.9	-0.1
WIOD	Wind 90 deg	0	5.7	-0.2
WIOE	Wind 120 deg	-2.2	4.9	-0.1
WIOF	Wind 150 deg	-3.8	2.8	-0.1
WIOG	Wind 180 deg	-4.4	0	0
WIOH	Wind 210 deg	-3.8	-2.8	0.1
WIOJ	Wind 240 deg	-2.2	-4.9	0.1
WIOK	Wind 270 deg	0	-5.7	0.2
WIOI	Wind 300 deg	2.2	-4.9	0.1
WIOM	Wind 330 deg	3.8	-2.8	0.1

B. Prosedur Pemodelan Global Menggunakan SACS

Langkah pemodelan struktur dengan menggunakan program SACS :

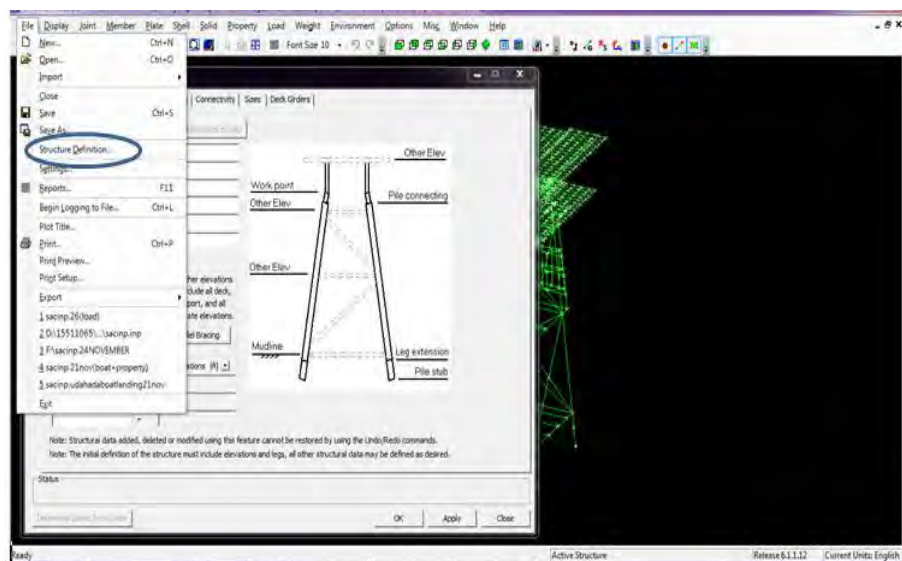
- Precede Model

SACS menyediakan pemodelan struktur yang disebut precede. Untuk menggunakan fasilitas ini, terlebih dahulu buka software SACS 5.6, kemudian klik modeler yang berada di sebelah kanan. Kemudian pilih create new model. Pilih start structure definition wizard pada pilihan start option dan english pada unit untuk mempermudah permodelan karena satuan yang digunakan di structure deck menggunakan satuan inggris. Langkah tersebut diperlihatkan dalam gambar di bawah ini



- Input Structure Definition

Untuk mempermudah permodelan, SACS menyediakan langkah pengisian structure definition dimana bisa ditentukan elevasi dari platform dan kemiringan leg. Buka file, kemudian klik structure definition seperti gambar di bawah ini :



- Input kriteria elevasi sesuai dengan kriteria yang sebelumnya sudah ditentukan sebelumnya

- **Input Joint**

SACS menyediakan banyak pilihan dalam memodelkan joint. Untuk membuat joint baru, klik joint kemudian pilih add. Ada beberapa pilihan yang disediakan:

1. Absolute yaitu menambahkan joint berdasarkan koordinat global yang diinput. Kita dapat menginput joint name, koordinat (global), dan fixity berdasarkan data dari drawing struktur yang akan dianalisis.
2. Relative yaitu menambahkan joint berdasarkan jarak relatif terhadap joint lainnya. Perbedaannya dengan absolute yaitu add relative menggunakan koordinat yang relatif terhadap joint lain. x,y,z relative adalah jarak dari reference joint ke new joint dalam arah x,y,z.
3. Intersection yaitu menambahkan joint yang berada pada dua garis yang bersilangan. Setiap garis dibuat dari dua joint. Jika garis tersebut tidak sejajar, maka garis tersebut akan berpotongan, joint yang baru akan dibuat pada titik tersebut.
4. Relative to a line yaitu menambahkan joint dengan menggunakan referensi garis (2 buah joint) dengan jarak relatif terhadap garis tersebut. Posisi joint yang baru dapat diinput dengan koordinat global ataupun menggunakan sudut.
5. Divide a line yaitu menambahkan joint pada sebuah garis (2 buah joint) yang membagi garis tersebut dengan jarak yang sama. Jika ada member pada garis tersebut, joint yang baru tidak akan membagi member. Joint yang baru dapat dihiikan satu atau lebih dengan jarak yang sama.

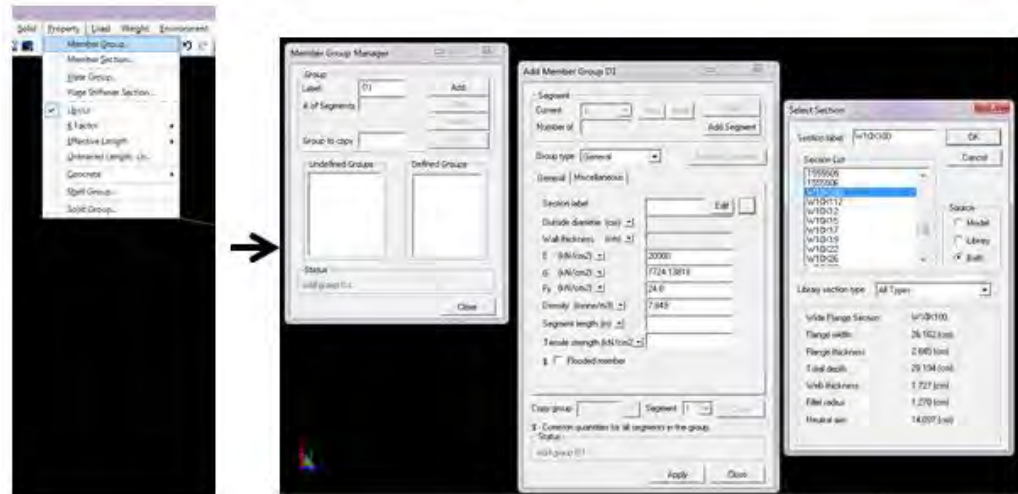
- **Input Member**

Langkah untuk memasukkan member adalah masuk ke menu member, klik add, masukkan dua joint yang akan disambungkan menjadi member. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



- Input Properties

Setelah selesai membuat joint dan member, hal yang selanjutnya dilakukan adalah pemberian property pada member.. Untuk menginput properties terlebih dahulu menggunakan member group.



Member group berguna untuk menambah dan mendefinisikan member group, mengedit, atau menghapus member group. Pertama kita harus membuat nama label group. Pilih section label sesuai dengan drawing struktur yang akan dianalisis. Isi nilai property yang lain seperti E, G, fy.

- Input Beban Equipment

Load -> Pressure -> Member area

- Flood and Unflood Member

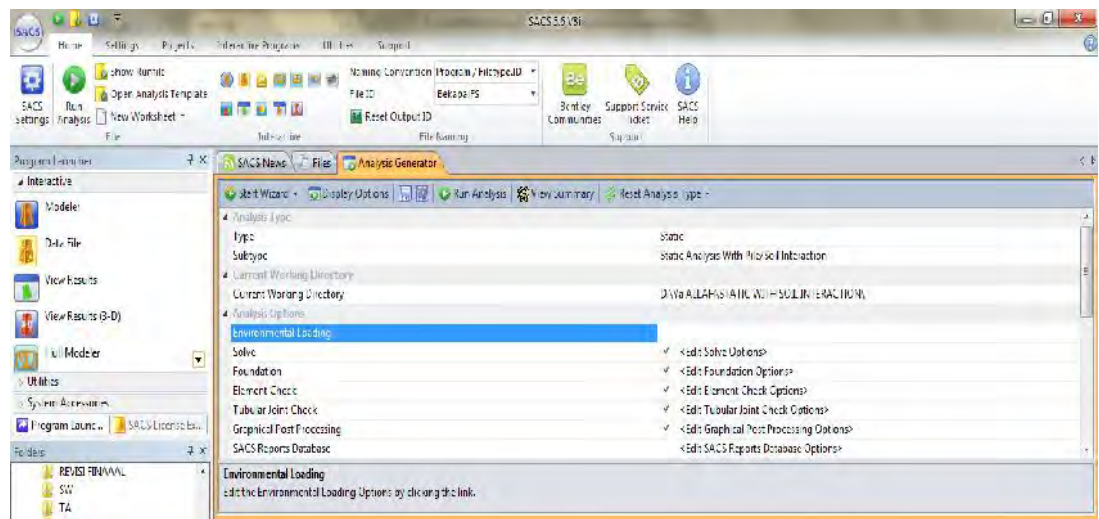
Property -> Member group

Pilih properti -> edit -> centang flooded member

C. Prosedur Analisis In-Place dan Dynamic pada SACS

Untuk analisa inplace:

- Buka model dengan data lingkungan yang telah diinput
- Save model dengan cara
Save as Model data only
- Save seastate
Save as Seastate only
- Buat Jointcan dengan cara
Buka datagen ketik JCNOPT Isi join can option
Pilih load case dengan cara
Ketik LCSEL IN input loadcase
END
- Buka analysis generator
Pilih analysis type Static Subtype Analysis with pile
Environment Loading seastate input No
Foundation Create pile solution No
Tubular Joint can Use jointcan input
Pilih SACS section Library
Masukkan file : sacinp, seainp, psiinp, jcniinp
Klik RUN Analysis



Untuk analisa dynamic:

- Buka datagen
- Buat dynip

Klik DYNOPT +ZMN 25CONS 7.849 1.025-35.052 36.632 1.0 SA-Z

Klik DYNOP2 1.07 END

- Save as dengan nama dyninp.nama
- Buka datagen seastate
- Hapus semua beban lingkungan ganti dengan loadcase yang ditinjau
- Save as seastate only
- Buka analysis generator

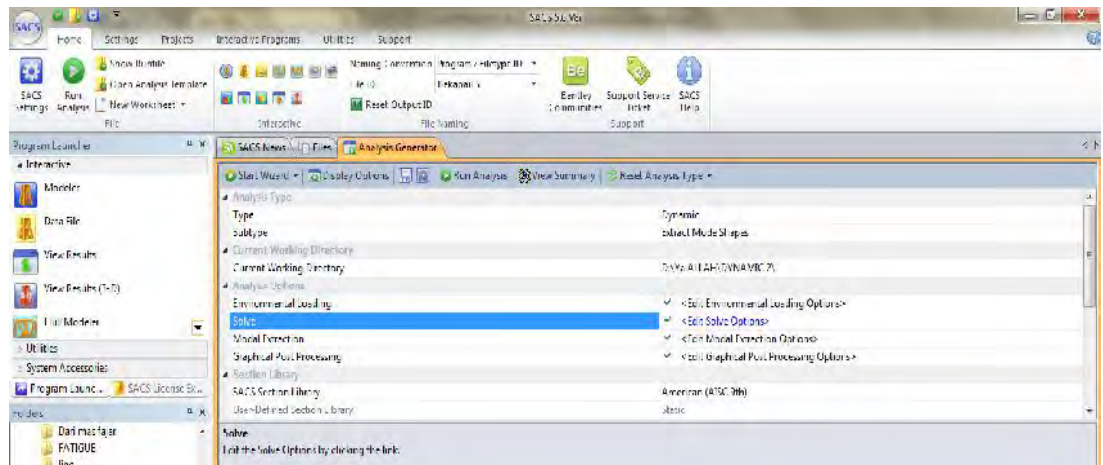
Pilih analysis type dynamic Subtype extract mode shape

Environment Loading seastate input No

Pilih SACS section Library

Masukkan file : sacinp, seainp, dyninp

Klik RUN Analysis



D. Prosedur Analisis Fatigue Spektral

- Create base shear/overturning moment. Transfer function: Gunakan environmental loading file seainp.dyn.
- Rename seainp.dyn menjadi seainp.plt lalu lakukan modifikasi sbb:
 - Hilangkan command DYNMAS dan CENTER;
 - Ubah option "B" pada FILE command menjadi "S"
 - Tambahkan command LOADCN (untuk menambahkan load case baru), beri nama load case 1;
 - Tambahkan command untuk generate transfer function dengan pengaturan sbb:
 - Tipe transfer function, misal pilih "AL", maksudnya loading akan digenerate pada tiap wave crest position
 - Jumlah waves
 - Wave Steepness, misal isi 0.05. Angka 0.05 adalah 1/20, maksudnya dari satu putaran penuh gelombang akan dicek tiap 20 degree
 - Beginning period
 - Period step size: misal isi 0.1 second, maksudnya wave period akan dicek diawali dari period 10 second, kemudian 10.1, 10.2, dan seterusnya;
 - Number of crest position. Ini ada hubungannya dengan wave steepness. Sebelumnya telah di-specify bahwa wave akan dicek tiap 20 degree, dengan 360 degree adalah satu putaran penuh maka $360/20 = 18$ crest positions
 - Wave direction: misal 0 degree;
 - Plot option, misal Both, maksudnya transfer function graphic akan di-plot terhadap frequency dan period
 - Tinggalkan option lain sesuai default.
 - Baris pertama command GNTRF adalah untuk 0 degree wave direction, langkah selanjutnya duplikasi command GNTRF tersebut dua kali kemudian ganti baris kedua untuk 45 deg wave direction dan baris ketiga command GNTRF untuk 90 deg wave direction
- Siapkan input file baru, yaitu wave response input file
 - Melalui DATAGEN, pilih dynamic kemudian wave response
 - Tambahkan command WROPT dengan pengaturan sbb:

Load case selection pilih "ALL", maksudnya adalah kriteria
output load case selection untuk all points

Thick pada "Generate Plot"

Number of Modes: misal isi 20

Maximum allowable iteration; misal isi -1, dengan demikian
tidak mengijinkan program untuk melakukan iterasi

Equivalent Static Option: pilih NONE

Tinggalkan options lain sesuai default

- Click Next;
- Pilih "No" untuk pertanyaan Plot Analysis Variable;
- Pilih "Yes" untuk pertanyaan Transfer Function Plot, selanjutnya specify mana saja yang akan di-plot, misal overturning moment, base shear;
- Thick "Both" untuk pertanyaan Independent Variables
- Click Next
- Click Skip untuk pertanyaan transfer function load case selection;
- Pilih "Yes" untuk pertanyaan modal damping selection, masukkan nilai damping ratio 2.0 (dalam persen)
- Pilih "No" untuk pertanyaan select specific modes to be included;
- Save as file dengan nama wvrinp.plt.
- Run Analysis untuk men-generate transfer function:
 - Tipe analisis: dynamic, sub tipe analisis: Deterministic/Transfer Function Generator;
 - Input files yang digunakan: seainp.plt, wvrinp.plt, sacinp.dat, dynmod.dyn, dynmas.dyn;
 - Hasil analisis berupa: wrncf.plt yang merupakan base shear dan overturning moment transfer function plots
- Langkah selanjutnya adalah create transfer function load, diawali dengan 0 deg wave direction
 - Save as seainp.plt menjadi seainp.000. Angka "000" mengindikasikan 0 deg wave direction;
 - Hilangkan command GNTRF untuk 45 dan 90 deg;
 - Ubah hanya pada "beginning period", masukkan nilai 20 periods yang telah dipilih pada table di halaman sebelumnya. Masukkan dengan descending order alias berurut dari yang paling besar ke yang lebih kecil;

- Setelah selesai, save as seainp.000 menjadi seainp.045. Ubah hanya di wave direction, ubah dari 0 deg menjadi 45 deg, options yang lain sama. Lakukan hingga sampai sudut 330 deg
- Selanjutnya adalah melakukan Multi Run Analysis untuk men-generate transfer function untuk setiap wave direction:
 - Tipe analisis: dynamic, sub tipe analisis: Deterministic Wave/Transfer Function Generation
 - Input files yang digunakan: seainp.000, dynsef.dat, dynmod.dyn, dynmas.dyn;
 - Proses ini akan menghasilkan:

Equivalent Static Load file: wvroci.000

Transfer function plot file: wvrncf.000

Transfer function load solution file: saccsf.000

Run file: wvr000.runx
- Menyiapkan spectrum fatigue input file:
 - Siapkan input file baru dengan DATAGEN
 - Pilih Post kemudian fatigue
 - Pilih "No" pada pertanyaan title
 - Pilih Spectral Wave Fatigue, click next
 - Click Skip pada pertanyaan fatigue option dan "No" untuk pertanyaan-pertanyaan selanjutnya sampai dengan pertanyaan "Is the transfer function data to be taken from SEASTATE", pilih "Yes" untuk pertanyaan ini
 - Masukkan angka 18 untuk pertanyaan Number wave position per Wave, konsisten dengan inputs sebelumnya
 - Isi 1 untuk pertanyaan Fatigue Environmental Number;
 - Fraction of design life: isi 0.3 alias 30%
 - Dynamic amplification factor: 1.0;
 - Tinggalkan options lain sesuai default;
 - Click next;
 - Pilih "Yes" untuk pertanyaan Develop Wave Spectra from Scatter Diagram;

- Pilih "D" untuk pertanyaan period type, yang maksudnya adalah dominant;
- Masukkan nilai 1.0 untuk wave height factor, fraction of life factor, dan period factor;
- Pilih "No" untuk pertanyaan Scatter Diagram Normalized;
- Wave Spectrum Type: misal PM untuk tipe spektrum Pierson Moskowitz, click next;
- Pilih "No" untuk pertanyaan Specify wave height occurrence factor;
- Masukkan significant wave height yang terdapat di table di atas. Nilai significant wave height adalah nilai tengah dari range yang terdapat di ketiga tables di atas, click next;
- Masukkan nilai period (juga nilai tengah) dan frequency of occurrence, click More;
- Masukkan period selanjutnya sampai dengan period 8 second
- Steps di atas adalah untuk fatigue case 1 ;
- Selanjutnya copy semua langkah di atas untuk selanjutnya diganti dengan fatigue case 2 (45 deg) dan seterusnya
- Ini adalah langkah terakhir, Run Analysis:
 - Tipe analisis: Post Processing, sub tipe analisis: Spectral Fatigue;
 - Input files yang digunakan: ftginp.ftg, saccsf.000, seainp.000, saccsf.045, seainp.045, saccsf.090, sampai 330
 - Files yang dihasilkan: ftgext.ftg (data untuk Interactive Fatigue), ftglst.ftg (fatigue analysis listing file), dan ftgftg.runx (run file)

E. SACS OUTPUT

E1. Joint can check output

JOINT CAN SUMMARY									
(UNITY CHECK ORDER)									
***** ORIGINAL *****					***** DESIGN *****				
JOINT	DIAMETER	THICKNESS	YLD STRS	UC	DIAMETER	THICKNESS	YLD STRS	UC	
	(CM)	(CM)	(N/MM2)		(CM)	(CM)	(N/MM2)		
9061	50.800	1.905	248.000	0.303	50.800	1.905	248.000	0.303	
9060	50.800	1.905	248.000	0.292	50.800	1.905	248.000	0.292	
602L	60.360	1.605	248.000	0.239	60.360	1.605	248.000	0.239	
601L	60.360	1.605	248.000	0.199	60.360	1.605	248.000	0.199	
603L	60.360	1.605	248.000	0.188	60.360	1.605	248.000	0.188	
9040	50.800	1.905	248.000	0.168	50.800	1.905	248.000	0.168	
9008	50.800	1.905	248.000	0.161	50.800	1.905	248.000	0.161	
503L	60.360	1.605	248.000	0.143	60.360	1.605	248.000	0.143	
502L	60.360	1.605	248.000	0.134	60.360	1.605	248.000	0.134	
401L	60.360	1.605	248.000	0.133	60.360	1.605	248.000	0.133	
8046	40.100	1.000	248.000	0.127	40.100	1.000	248.000	0.127	
801L	50.800	1.905	248.000	0.113	50.800	1.905	248.000	0.113	
802L	50.800	1.905	248.000	0.113	50.800	1.905	248.000	0.113	
201L	60.360	1.605	248.000	0.105	60.360	1.605	248.000	0.105	
8047	21.367	0.682	248.000	0.098	21.367	0.682	248.000	0.098	
403L	60.360	1.605	248.000	0.095	60.360	1.605	248.000	0.095	
8050	40.100	1.000	248.000	0.094	40.100	1.000	248.000	0.094	
103L	60.360	1.605	248.000	0.094	60.360	1.605	248.000	0.094	
8043	21.367	0.682	248.000	0.093	21.367	0.682	248.000	0.093	
8045	40.100	1.000	248.000	0.088	40.100	1.000	248.000	0.088	
303L	60.360	1.605	248.000	0.088	60.360	1.605	248.000	0.088	
8051	40.100	1.000	248.000	0.086	40.100	1.000	248.000	0.086	
501L	60.360	1.605	248.000	0.083	60.360	1.605	248.000	0.083	
402L	60.360	1.605	248.000	0.081	60.360	1.605	248.000	0.081	
9041	50.800	1.905	248.000	0.080	50.800	1.905	248.000	0.080	
202L	60.360	1.605	248.000	0.079	60.360	1.605	248.000	0.079	
8048	21.367	0.682	248.000	0.078	21.367	0.682	248.000	0.078	
9004	50.800	1.905	248.000	0.078	50.800	1.905	248.000	0.078	
302L	60.360	1.605	248.000	0.078	60.360	1.605	248.000	0.078	
9005	50.800	1.905	248.000	0.075	50.800	1.905	248.000	0.075	
102L	60.360	1.605	248.000	0.073	60.360	1.605	248.000	0.073	
301L	60.360	1.605	248.000	0.072	60.360	1.605	248.000	0.072	
9009	50.800	1.905	248.000	0.072	50.800	1.905	248.000	0.072	
8049	40.100	1.000	248.000	0.068	40.100	1.000	248.000	0.068	
9006	50.800	1.905	248.000	0.065	50.800	1.905	248.000	0.065	
9043	50.800	1.905	248.000	0.063	50.800	1.905	248.000	0.063	
203L	60.360	1.605	248.000	0.062	60.360	1.605	248.000	0.062	
101L	60.360	1.605	248.000	0.060	60.360	1.605	248.000	0.060	
8052	40.100	1.000	248.000	0.052	40.100	1.000	248.000	0.052	
9042	50.800	1.905	248.000	0.041	50.800	1.905	248.000	0.041	

E2. Periode Natural Output

SACS V8i SELECTseries 3 (v5.6)
BEKAPAI FS MODAL ANALYSIS

krsl ID=
DATE 24-JUN-2016 TIME 10:05:53 DYN PAGE 13

SACS IV-FREQUENCIES AND GENERALIZED MASS				
MODE	FREQ.(CPS)	GEN. MASS	EIGENVALUE	PERIOD(SECS)
1	0.257507	8.4231462E+02	3.8200032E-01	3.8833966
2	0.268661	9.2027437E+02	3.5093947E-01	3.7221681
3	0.574686	5.6025390E+02	7.6697111E-02	1.7400807
4	1.591523	1.5222960E+02	1.0000326E-02	0.6283288
5	1.659952	1.1278716E+02	9.1928305E-03	0.6024271
6	2.831487	1.7476386E+02	3.1594467E-03	0.3531713
7	2.934946	1.2344403E+02	2.9406282E-03	0.3407218
8	3.787895	1.0632566E+02	1.7654055E-03	0.2639989
9	5.439788	8.8792527E+01	8.5600499E-04	0.1838307
10	5.615366	9.1513167E+01	8.0331166E-04	0.1780828
11	5.657673	7.2309929E+01	7.9134260E-04	0.1767511
12	7.856827	1.0434818E+02	4.1034194E-04	0.1272779
13	8.224616	1.6280076E+02	3.7446308E-04	0.1215862
14	8.790707	9.8469305E+01	3.2778767E-04	0.1137565
15	8.905718	1.0208299E+02	3.1937608E-04	0.1122874

16	9.420565	1.2896841E+01	2.8542129E-04	0.1061507
17	10.399982	8.1931368E+01	2.3419361E-04	0.0961540
18	11.641487	9.6628461E+01	1.8690602E-04	0.0858997
19	11.882412	8.8575842E+01	1.7940355E-04	0.0841580
20	12.363636	9.6200879E+00	1.6570965E-04	0.0808824
21	15.524940	3.2138282E+01	1.0509459E-04	0.0644125
22	16.261304	3.6410137E+01	9.5792055E-05	0.0614957
23	16.866593	4.8612996E+01	8.9040072E-05	0.0592888
24	17.695992	7.2643910E+01	8.0889174E-05	0.0565100
25	18.288734	6.2346571E+01	7.5730873E-05	0.0546785

E3. Dynamic Output

***** WEIGHT AND CENTER OF GRAVITY SUMMARY *****								
***** ITEM DESCRIPTION *****	***** WEIGHT *****						***** CENTER OF GRAVITY *****	
	X	Y	Z	X	Y	Z		
	KN	KN	KN	M	M	M		
MEMBER ELEMENTS	1080.233	1080.233	1080.233	0.006	-3.427	-14.947		
MEMBER ELEMENT NORMAL ADDED MASS		685.162	676.817	315.753	0.011	-4.211	-25.014	
FLOODED MEMBER ELEMENT ENTRAPPED FLUID		505.301	505.301	505.301	0.000	-3.573	-17.027	
LOAD CASES CONVERTED TO WEIGHTS		9143.150	9143.150	9143.150	0.000	-0.781	18.290	
***** TOTAL *****	11413.846	11405.501	11044.437	0.001	-1.359	8.15		

E4. Fatigue List Output

* * * MEMBER FATIGUE REPORT * * *																			
(JOINTORDER)																			
ORIGINAL			CHORD			REQUIRED													
JOINT	MEMBER	GRUP	TYPE	OD	WT	JNT	MEM	LEN.	GAP	*STRESS	CONC.	FACTORS	*FATIGUE	RESULTS	OD	WT			
ID	ID	(CM)	(CM)	TYP	TYP	(M)	(CM)	AX-CR	AX-SD	IN-PL	OU-PL	DAMAGE	LOC	SVC	LIFE	(CM)	(CM)		
503P	503P-603P	PL2	TUB	50.80	1.905			2.50	2.50	2.50	2.50	.13095	-3	R	152734.8				

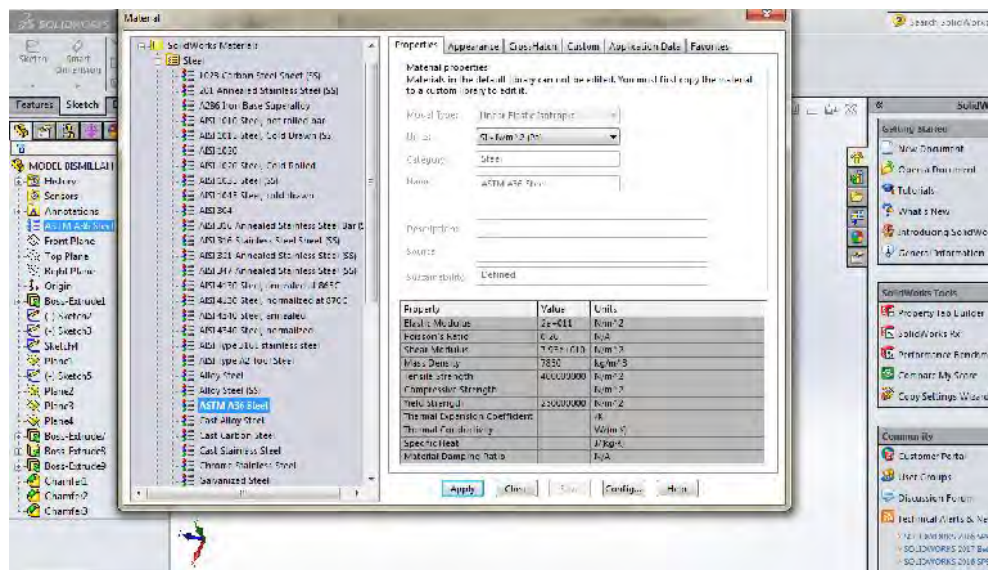
601L	503L-601L	DB5	TUB	26.76	1.556	K	BRC	4.24	10.13	3.31	4.74	3.59	4.72	.51029	-2	R	3919.359		
601L	501L-601L	LG3	TUB	60.36	1.605	K	CHD	4.24		5.97	8.88	3.62	6.86	.0533466	R	374.9065			
601L	601L-602L	HB4	TUB	21.37	0.682	Y	BRC	4.24		2.63	7.93	2.80	5.24	.1241593	BR	161.0834			
601L	601L-701L	LG3	TUB	60.36	1.605	Y	CHD	4.24		2.65	7.47	2.50	4.63	.0888298	BR	225.1498			
601L	601L-603L	HB4	TUB	21.37	0.682	K	BRC	4.24	10.13	3.81	6.18	2.80	5.65	.0150492	L	1328.973			
601L	601L-701L	LG3	TUB	60.36	1.605	K	CHD	4.24		3.67	5.87	2.50	4.99	.0104812	L	1908.181			

601P	501P-601P	PL2	TUB	50.80	1.905			2.50	2.50	2.50	2.50	.18571	-2	B	10769.51				
601P	601P-701L	PL2	TUB	50.80	1.905			2.50	2.50	2.50	2.50	.18555	-2	B	10778.53				

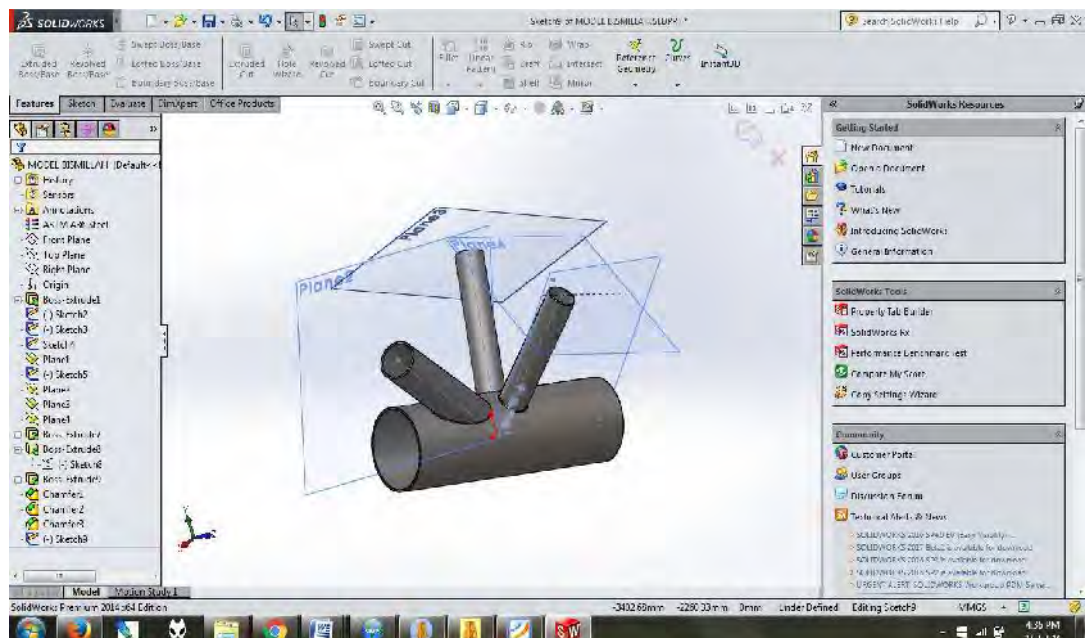
602L	501L-602L	DB5	TUB	26.76	1.556	K	BRC	4.24	8.69	3.37	4.38	3.60	4.50	.0253372	TR	789.3522			
602L	502L-602L	LG3	TUB	60.36	1.605	K	CHD	4.24		5.93	8.05	3.51	6.52	.1973048	R	101.3660			
602L	601L-602L	HB4	TUB	21.37	0.682	K	BRC	4.24	8.69	4.27	5.91	2.80	5.96	.1136330	TR	176.0052			
602L	602L-702L	LG3	TUB	60.36	1.605	K	CHD	4.24		4.07	5.55	2.50	5.27	.0780505	TR	256.2443			

F. Prosedur Pemodelan Join lokal menggunakan SOLIDWORK

- Pilih Jenis Material
Configure material Steel ASTM A 36



- Pilih plane (Front, Top, Right)
- Klik sketch buat lingkaran
- Masukkan panjang radius
- Klik feature Extrude Mid plane / Up to surface
- Lakukan hal diatas hingga didapatkan model yang diinginkan
-

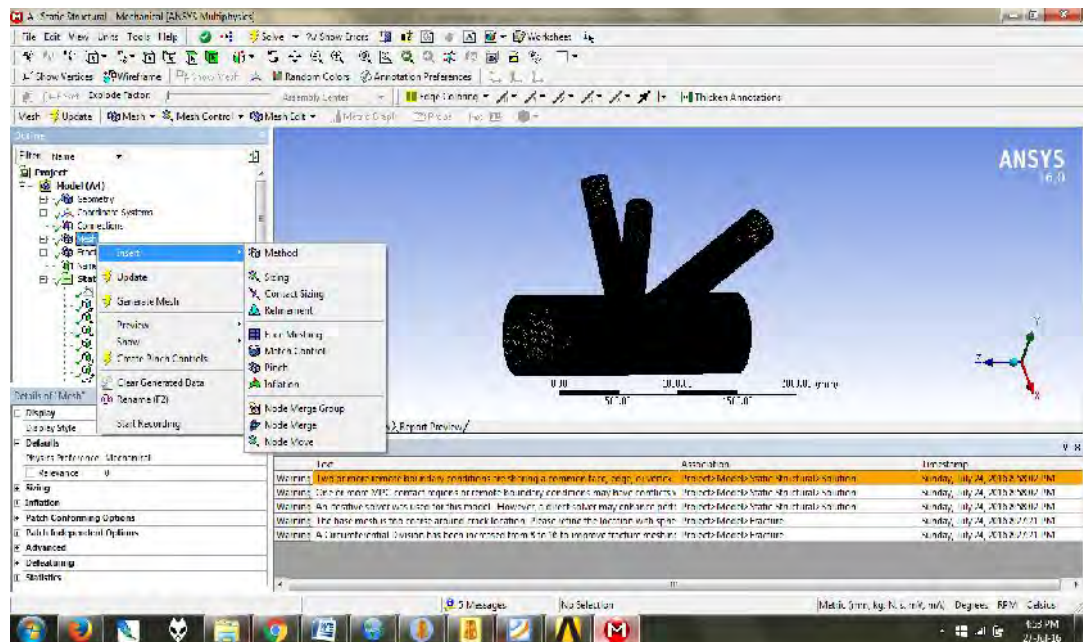


- Save as IGES file (.IGS) agar bisa diinput ke ANSYS

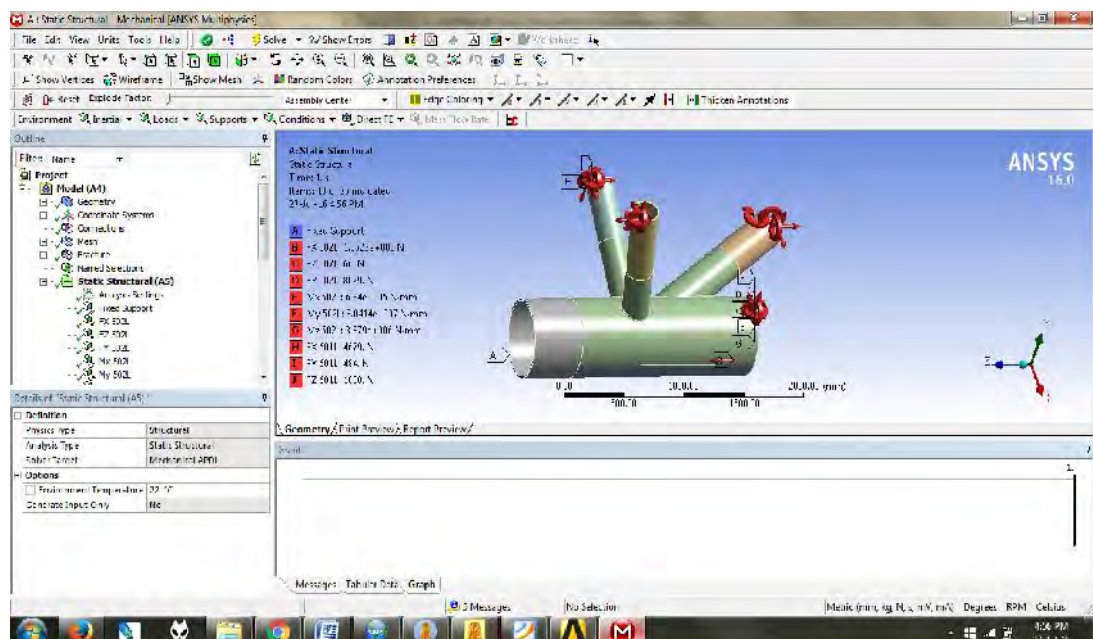
G. Prosedur Pemodelan Retak dan Running SIF menggunakan ANSYS

G.1. Input Pemodelan Lokal

- Pada kolom ANSYS pilih Static Structural drag ke kolom sebelah kanan
- Klik kanan pada geometri Input Geometri Pilih file IGES atau parasolid
- Buka model lakukan meshing
- Klik kanan pada mesh Method pilih model pilih hexa / tetra

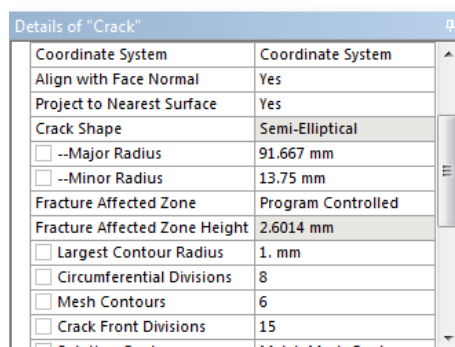


- Klik Mesh Sizing pilih bagian potongan pada model Atur Meshing size
- Klik kanan Generate Mesh
- Input Gaya Static structural klik kanan Insert Gaya & Moment
- Pilih Bagian yang akan diinput gaya masukkan besar gaya

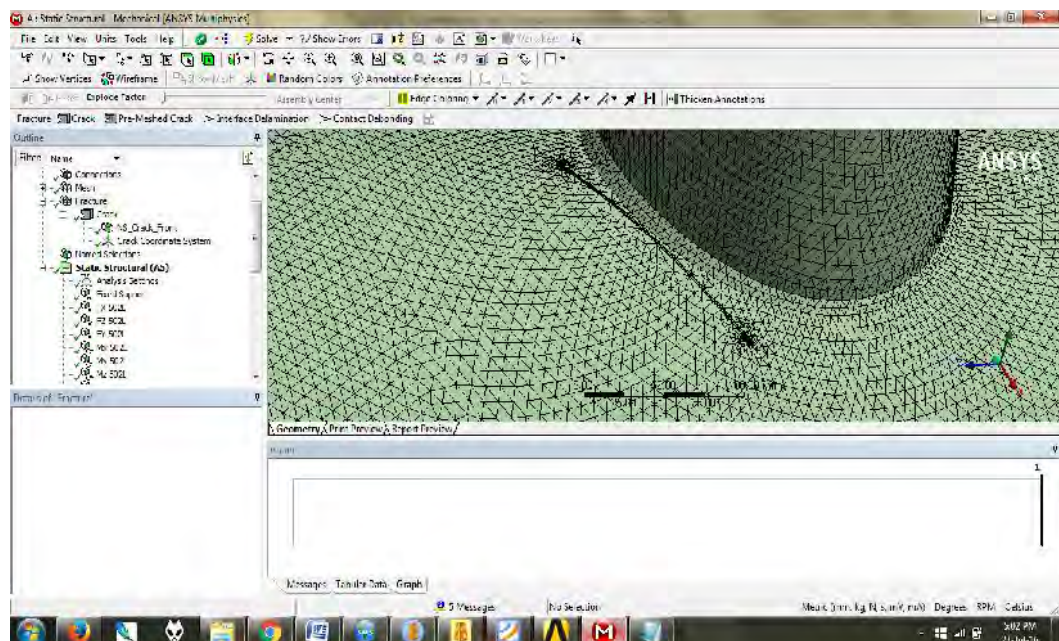


G.2. Pemodelan Retak

- Klik coordinate system input coordinate System
- Isi koordinat x, y, z yang diinginkan
- Klik kanan model insert fracture
- Fracture klik kanan Crack
- Scoping method Geometry selection Coordinate system
- Isi major radius untuk 2c dan minor radius untuk a
- Isi :
 - largesst contour radius : besar reatakan dari titik tengah menyebar
 - circumferentul divisions
 - mesh contour : pembagian ruangan contour radius
 - crack front division : pembagian di garis lengkung

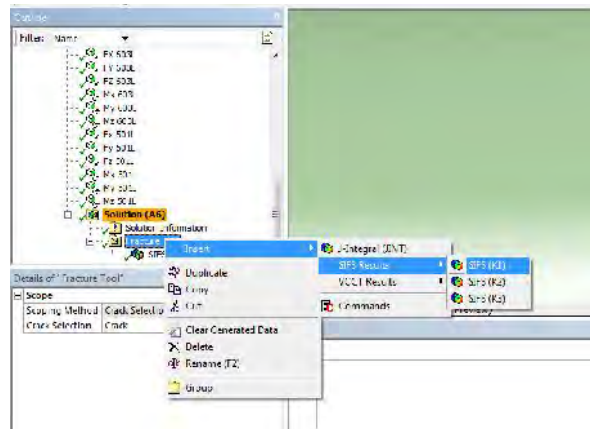


- Klik kanan fracture Generate All crack mesh

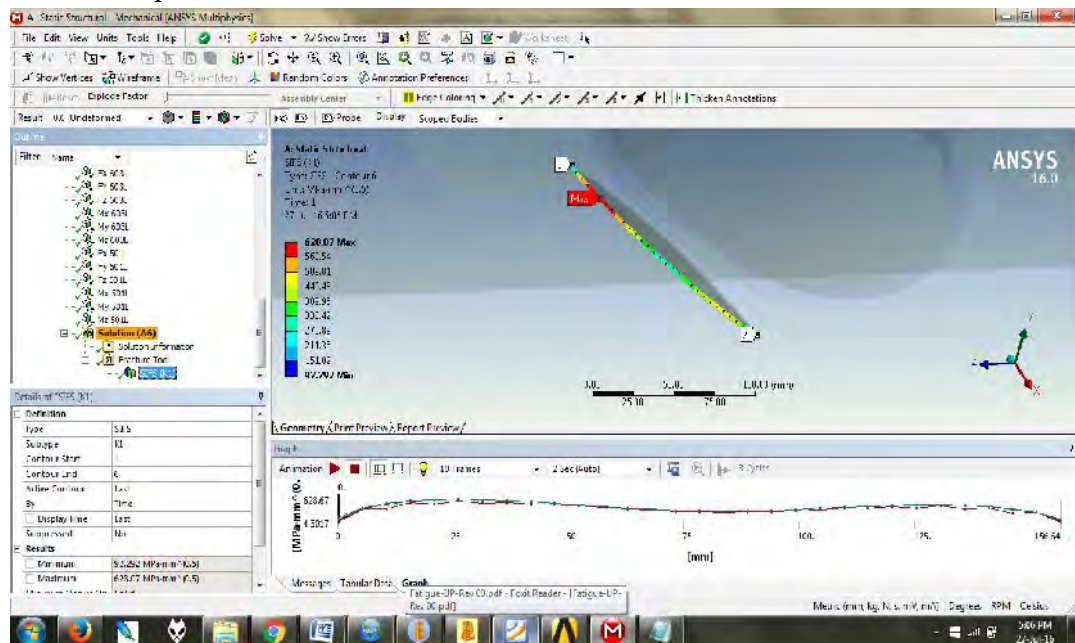


G.3. Running SIF

- Klik kanan solution Fracture tool
- Fracture tool Insert SIF result K1



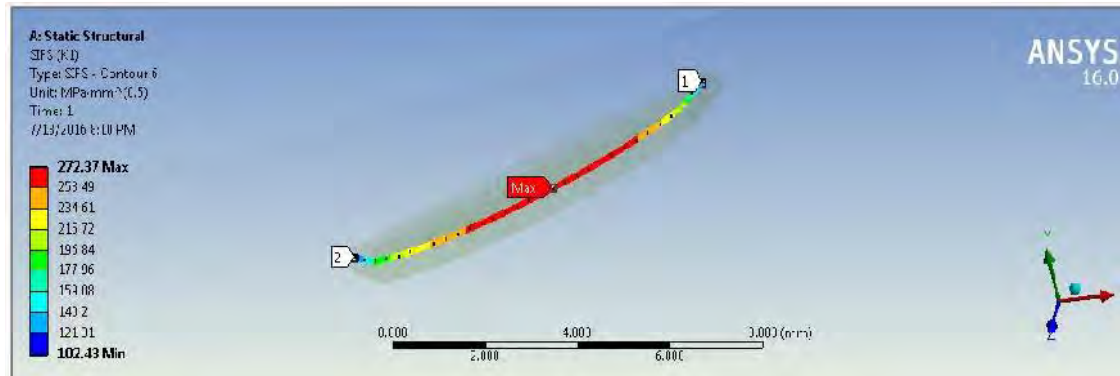
- Fracture tool Crack selection crack
- Klik kanan pada solution Solve



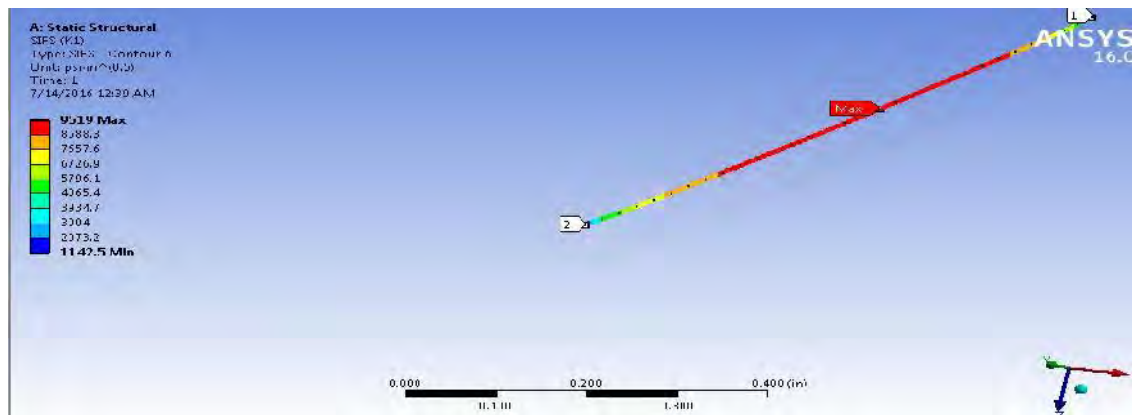
H. Hasil SIF Numerik

H.1 Kondisi Pembebanan Maksimum

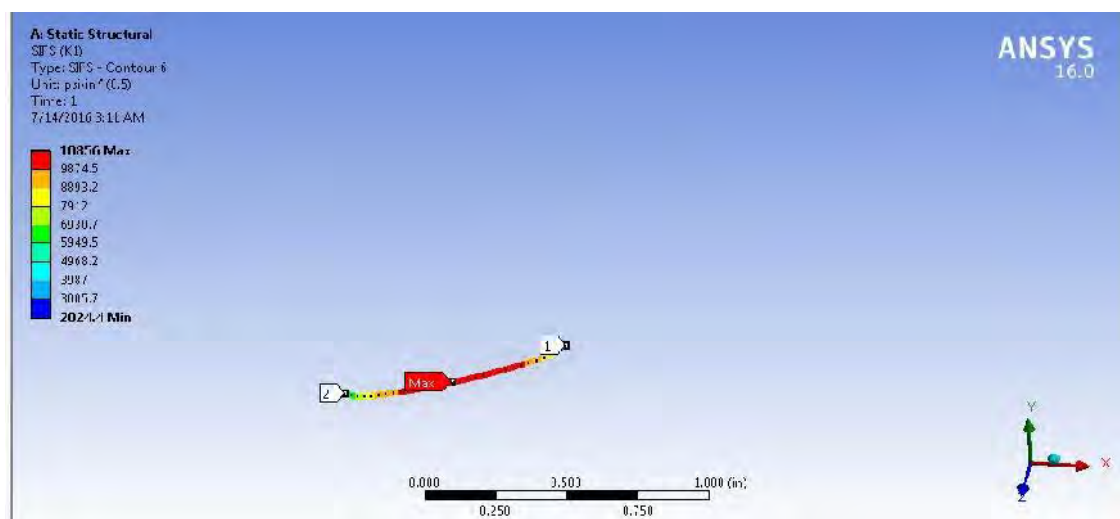
- $a_{\text{average}} = 0.25$



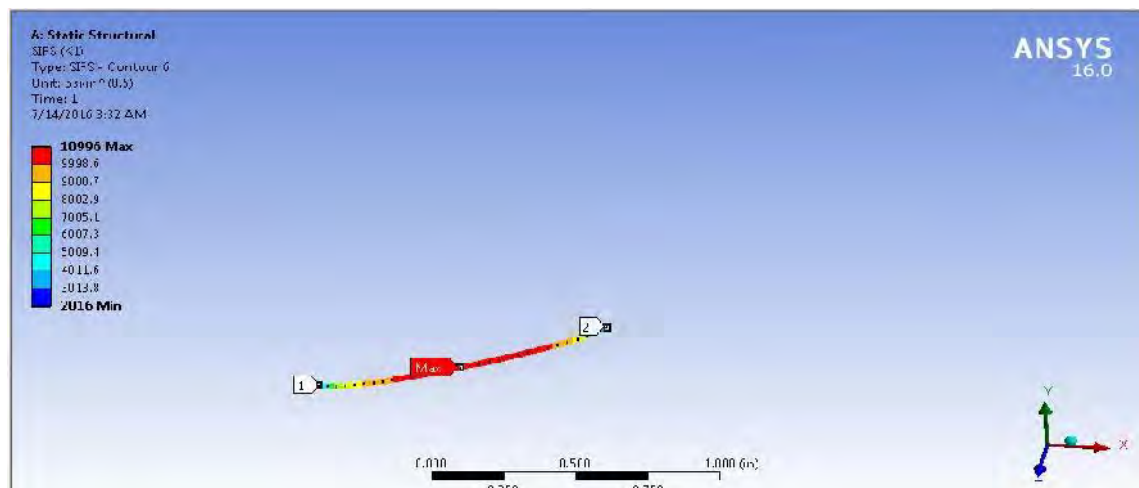
- $a_{\text{average}} = 0.75$



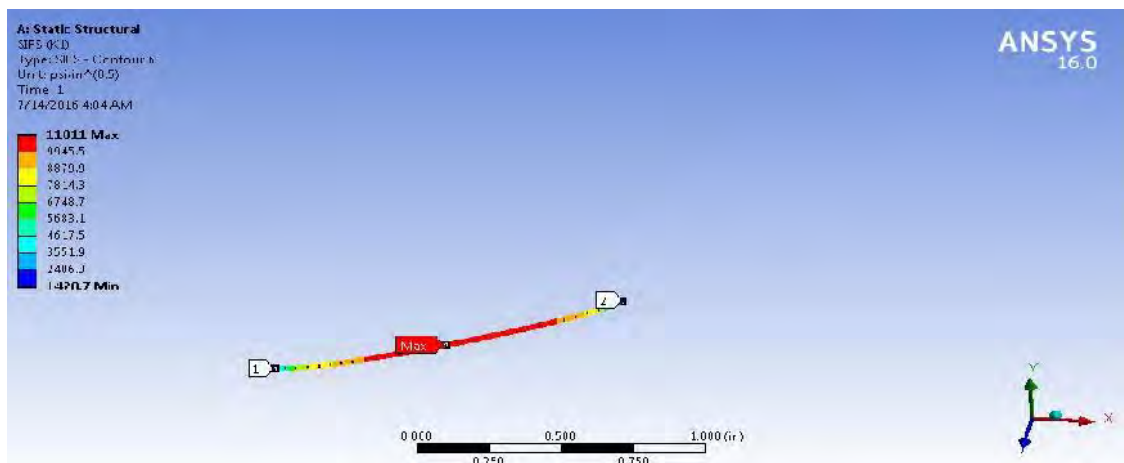
- $a_{\text{average}} = 1.25$



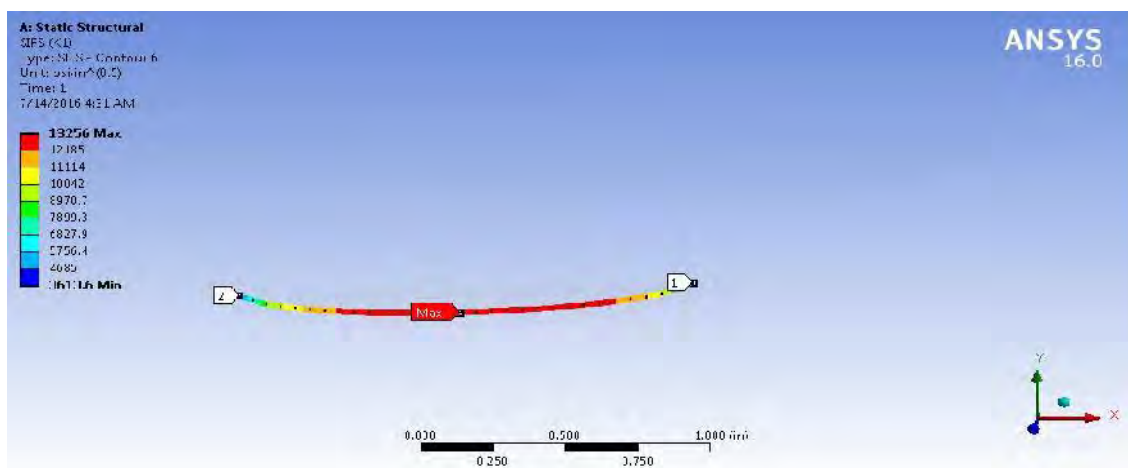
- $a_{\text{average}} = 1.75$



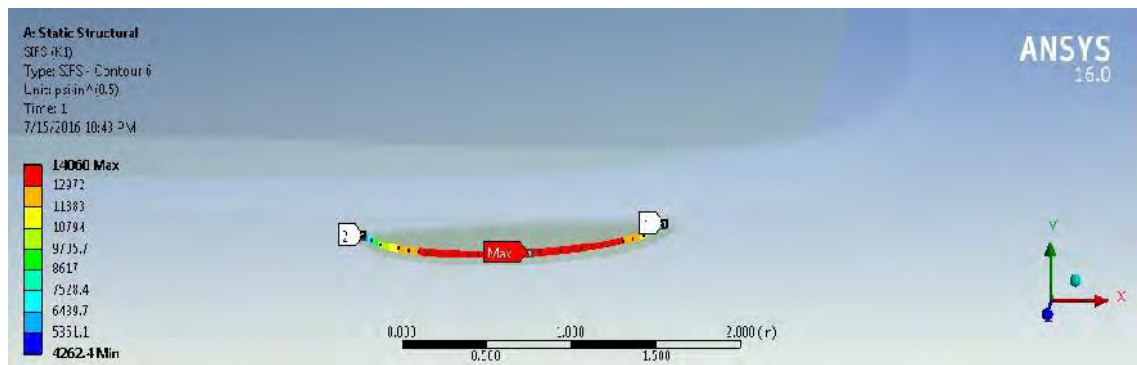
- $a_{\text{average}} = 2.25$



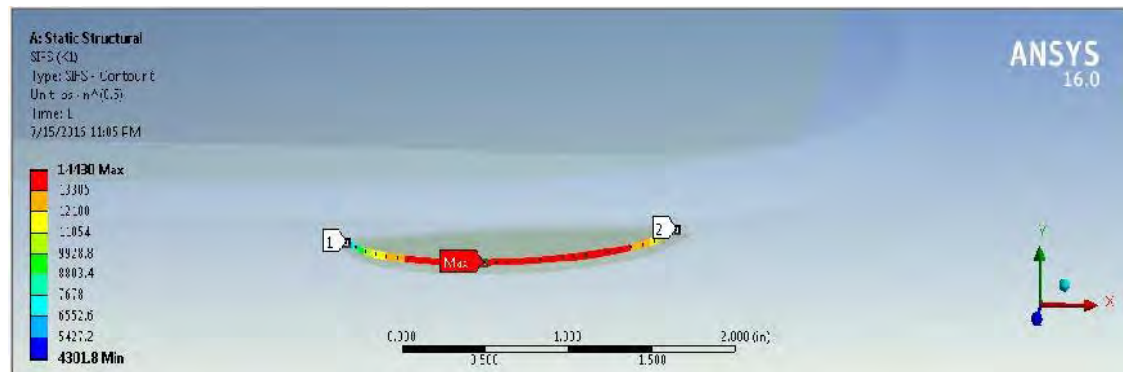
- $a_{\text{average}} = 3.25$



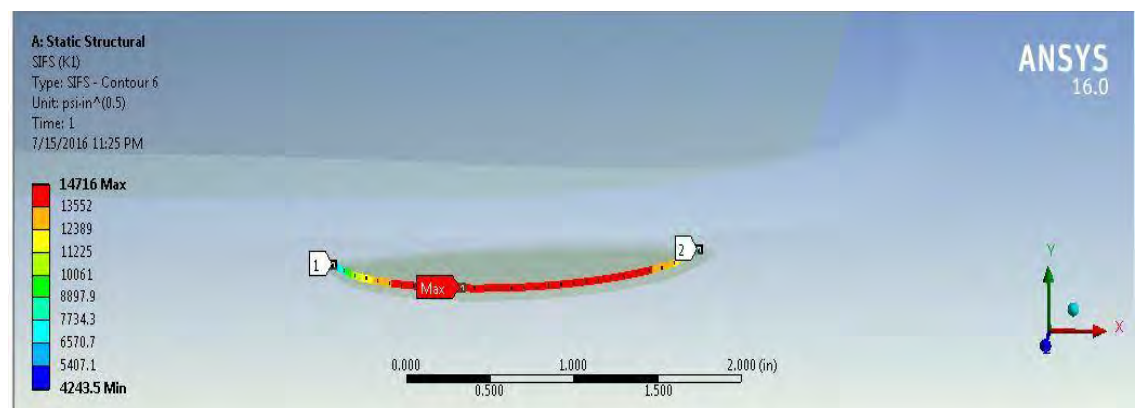
- $a_{\text{average}} = 3.75$



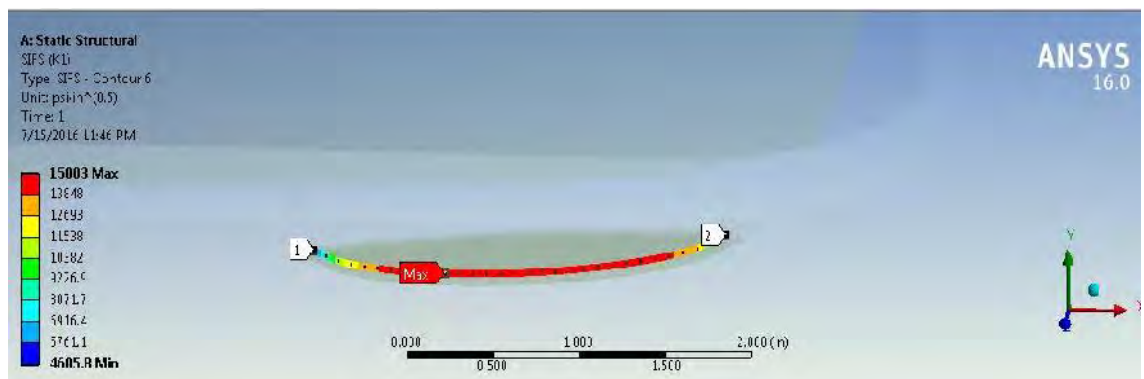
- $a_{\text{average}} = 4.25$



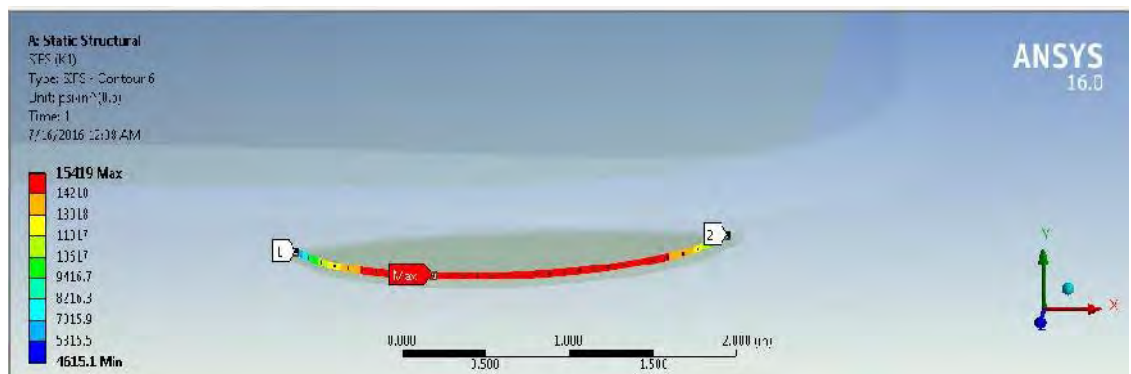
- $a_{\text{average}} = 4.75$



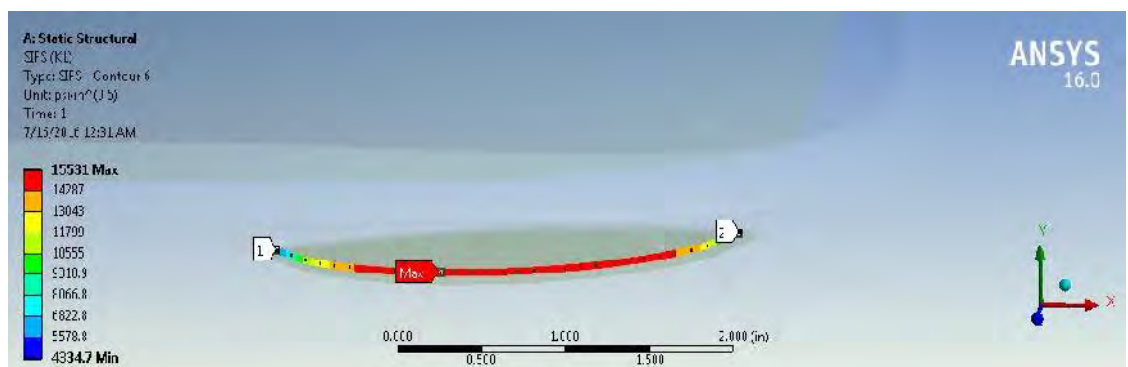
- $a_{\text{average}} = 5.25$



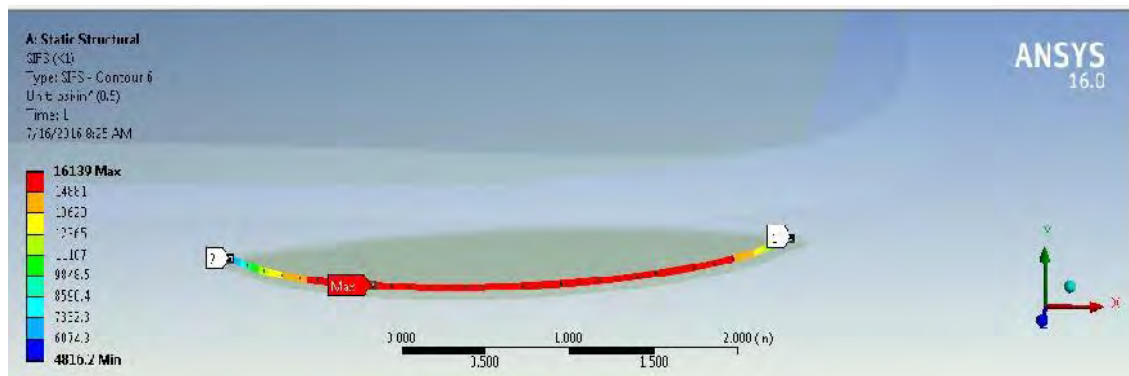
- $a_{\text{average}} = 5.75$



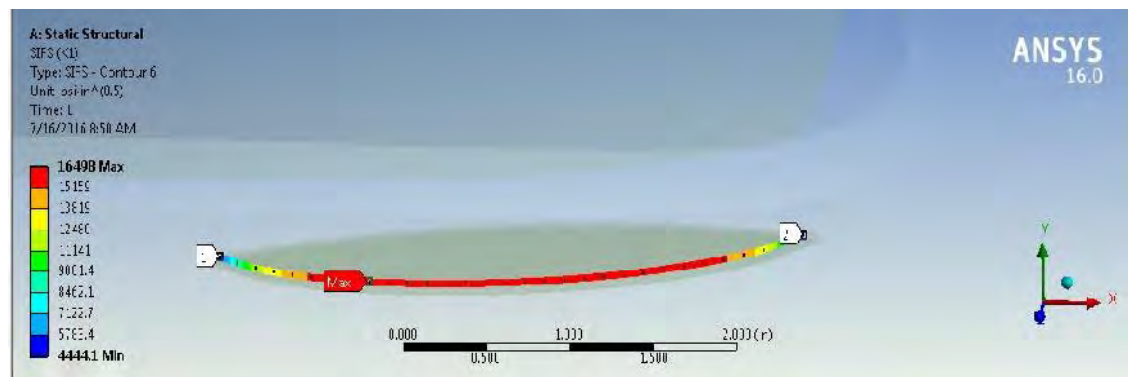
- $a_{\text{average}} = 6.25$



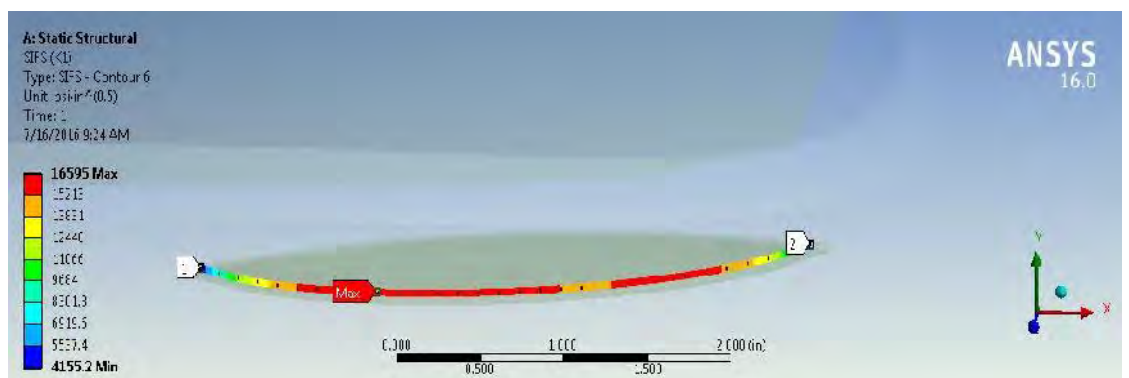
- $a_{\text{average}} = 7.25$



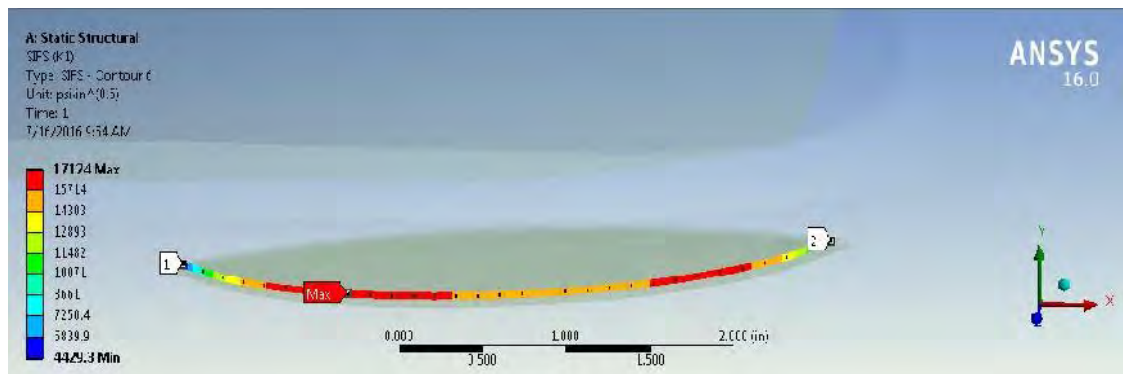
- $a_{\text{average}} = 8.25$



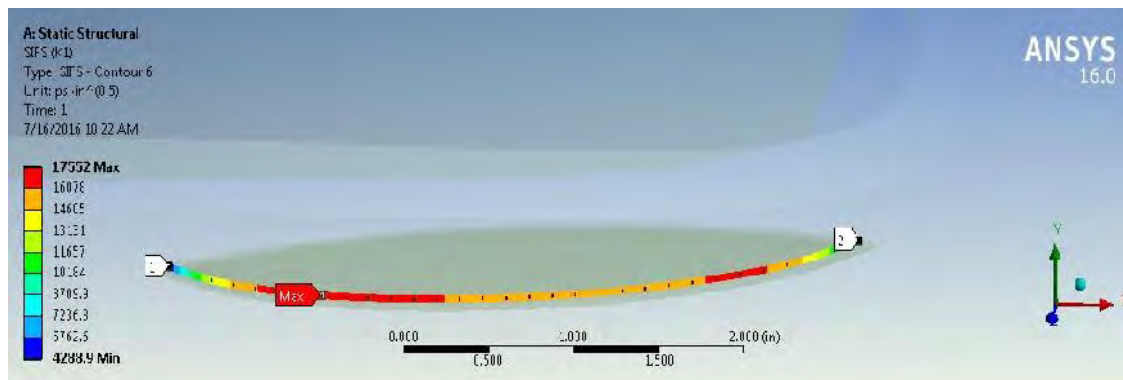
- $a_{\text{average}} = 8.75$



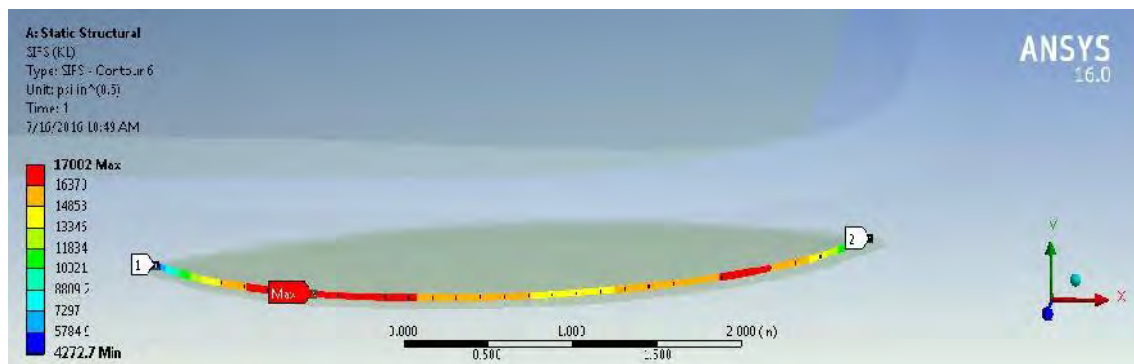
- $a_{\text{average}} = 9.25$



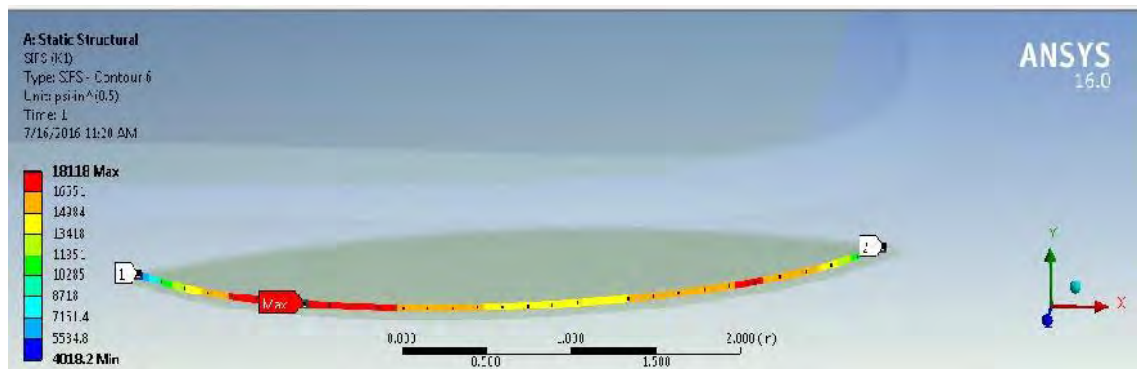
- $a_{\text{average}} = 9.75$



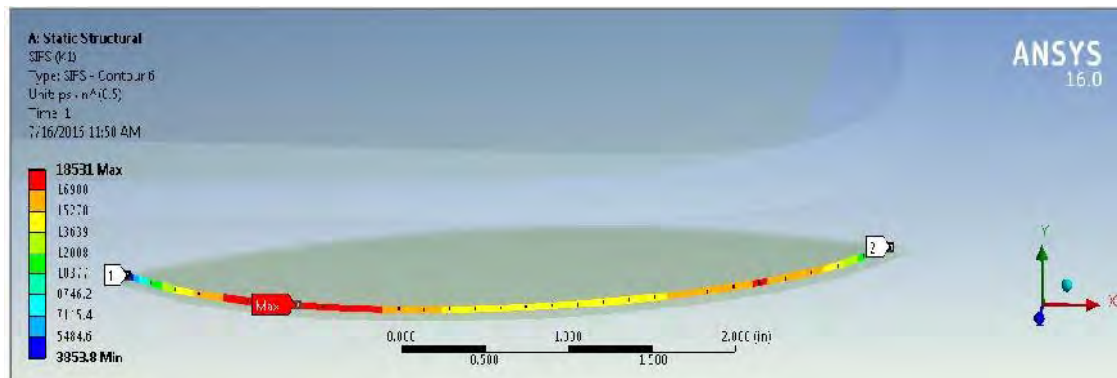
- $a_{\text{average}} = 10.25$



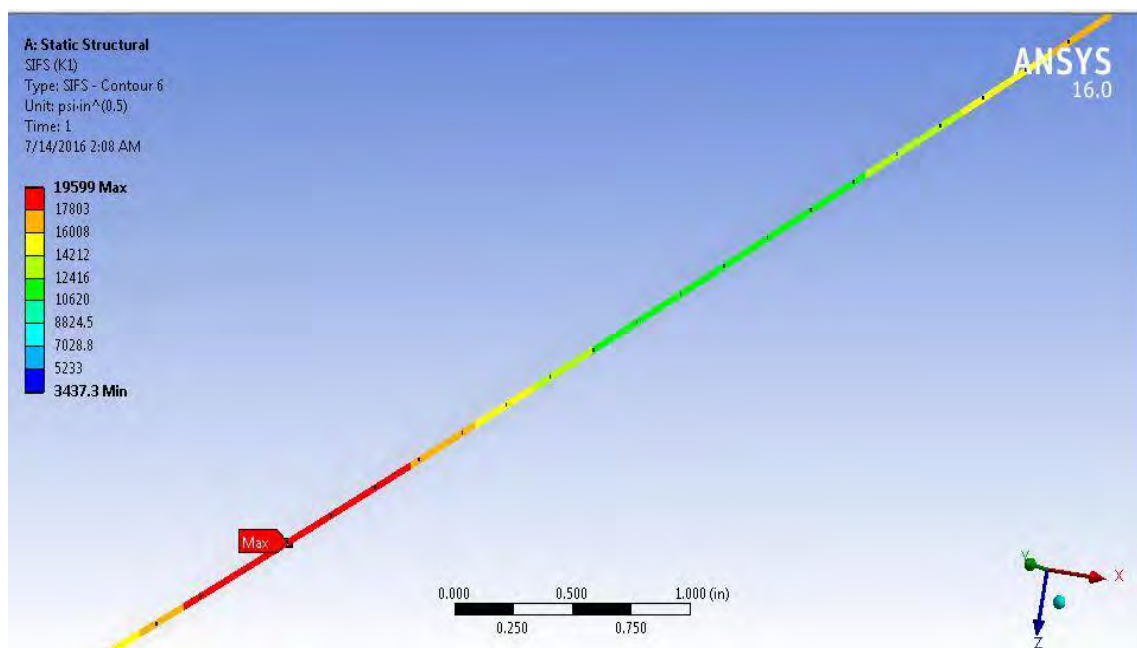
- $a_{\text{average}} = 10.75$



- $a_{\text{average}} = 11.25$

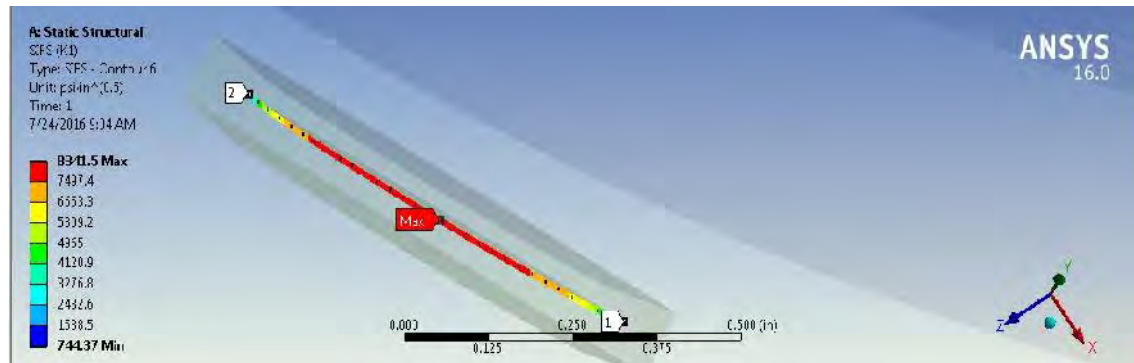


- $a_{\text{average}} = 13.75$

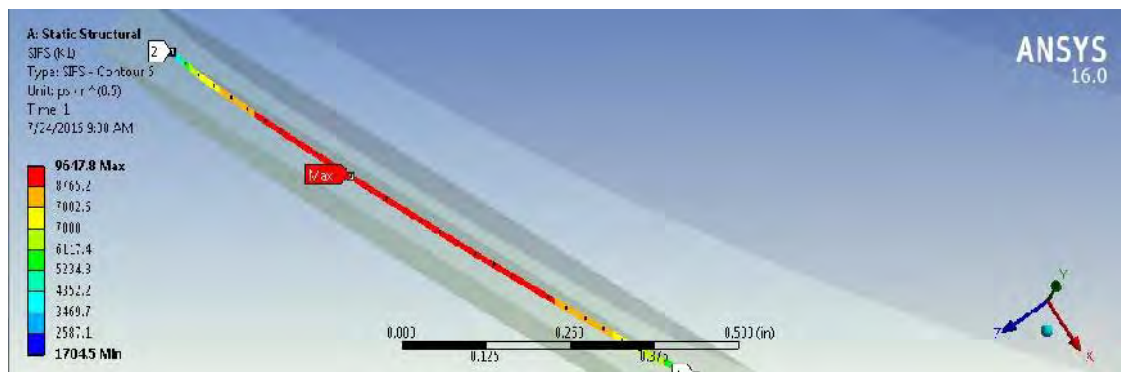


H.2. Kondisi Pembebanan Minimum

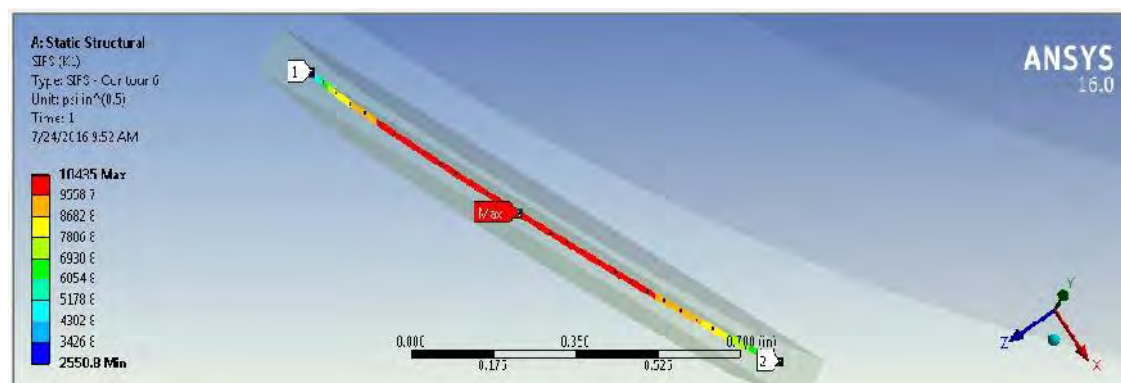
- $a_{\text{average}} = 0.75$



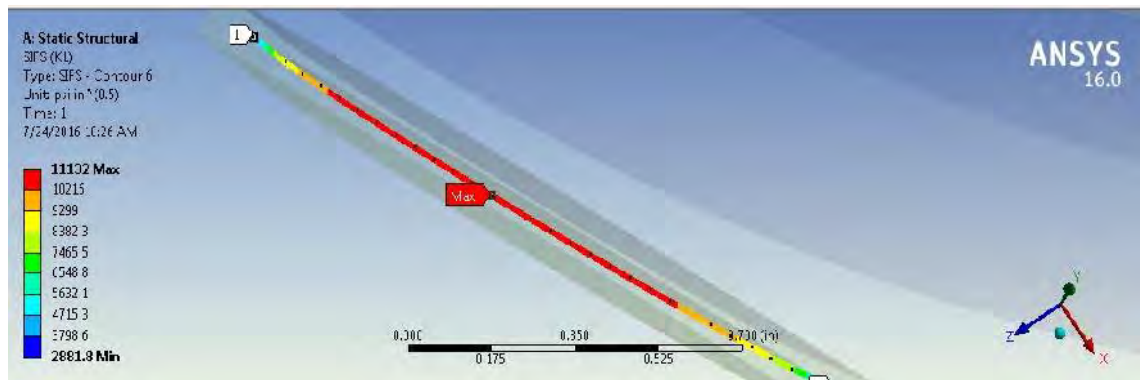
- $a_{\text{average}} = 1.25$



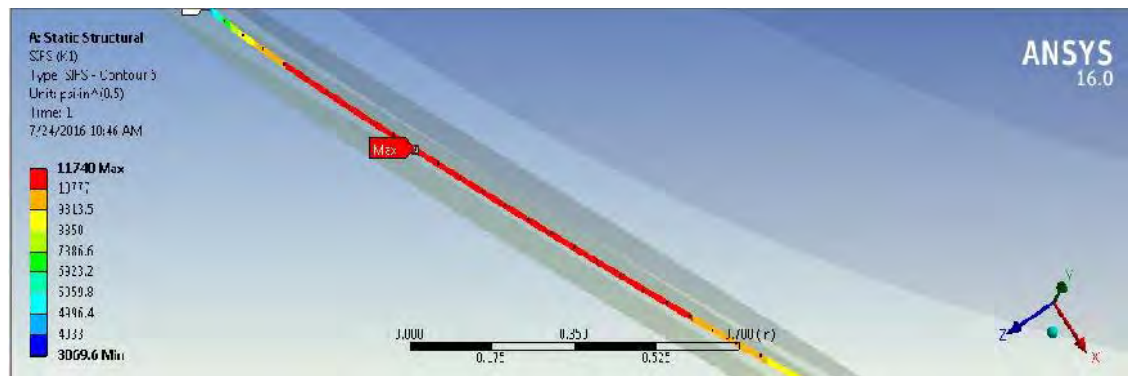
- $a_{\text{average}} = 1.75$



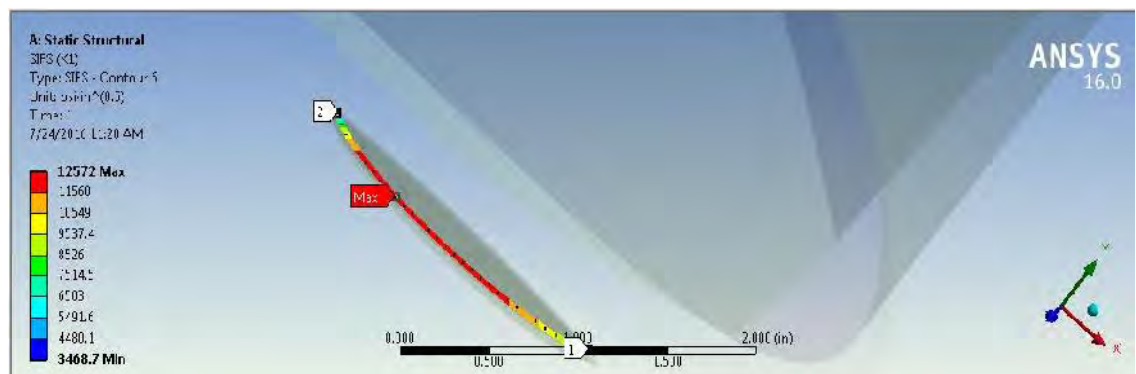
- $a_{\text{average}} = 2.25$



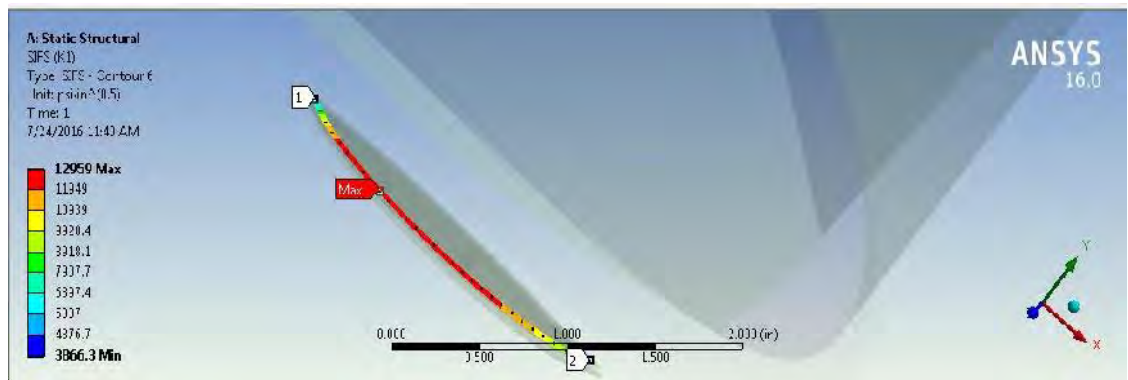
- $a_{\text{average}} = 3.25$



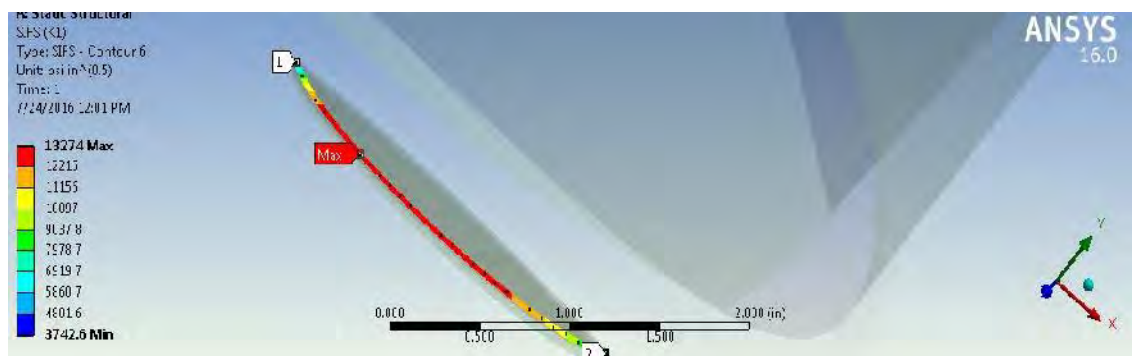
- $a_{\text{average}} = 3.75$



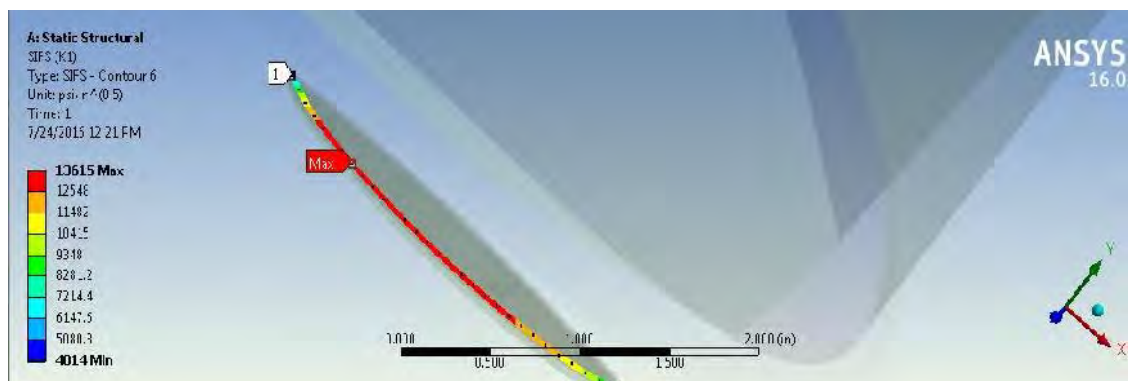
- $a_{\text{average}} = 4.25$



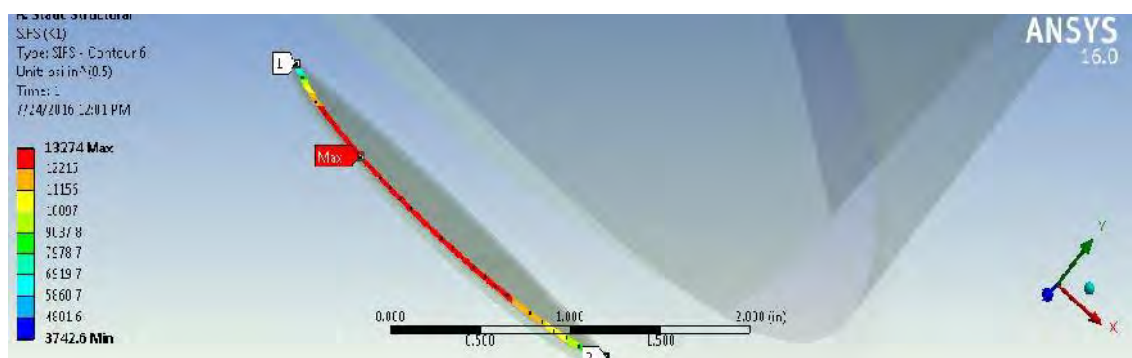
- $a_{\text{average}} = 4.75$



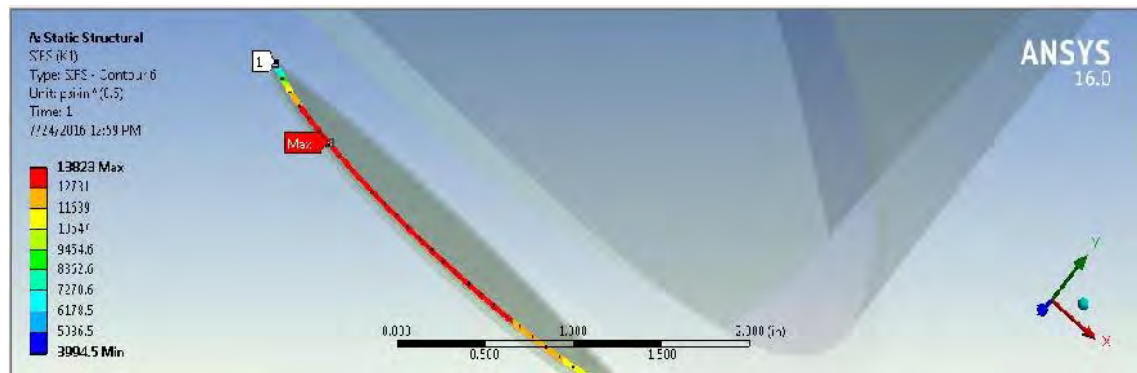
- $a_{\text{average}} = 5.25$



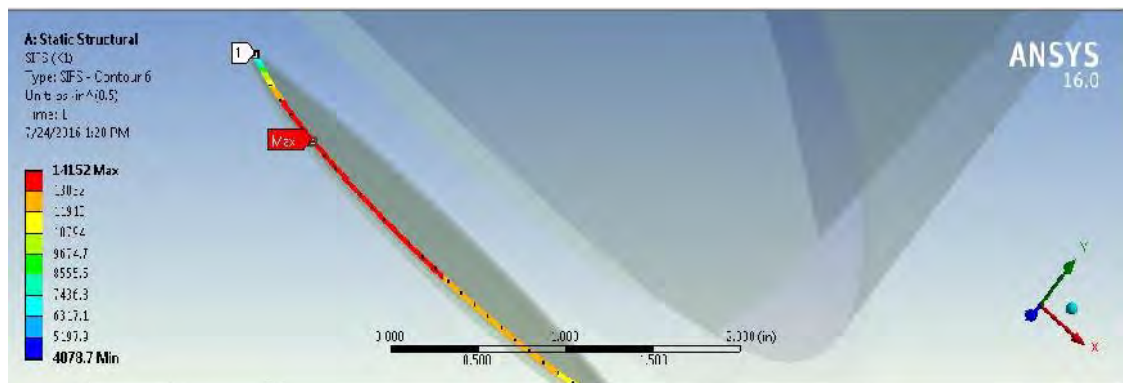
- $a_{\text{average}} = 5.75$



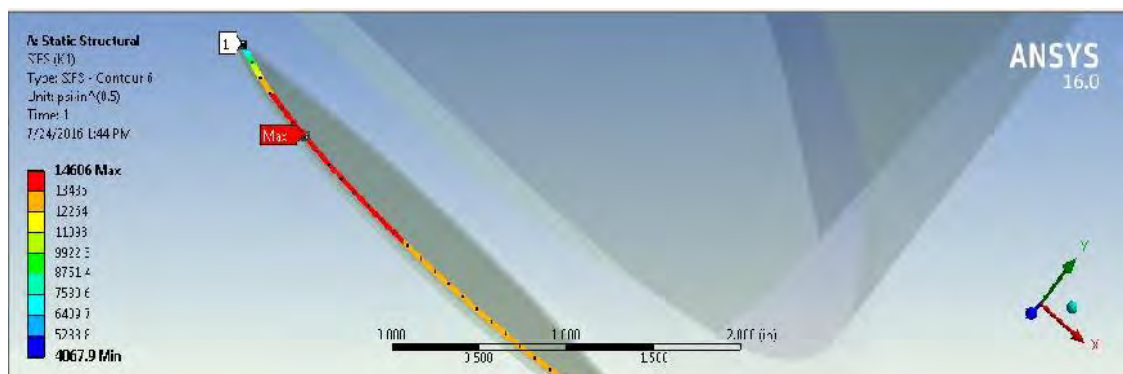
- $a_{\text{average}} = 6.25$



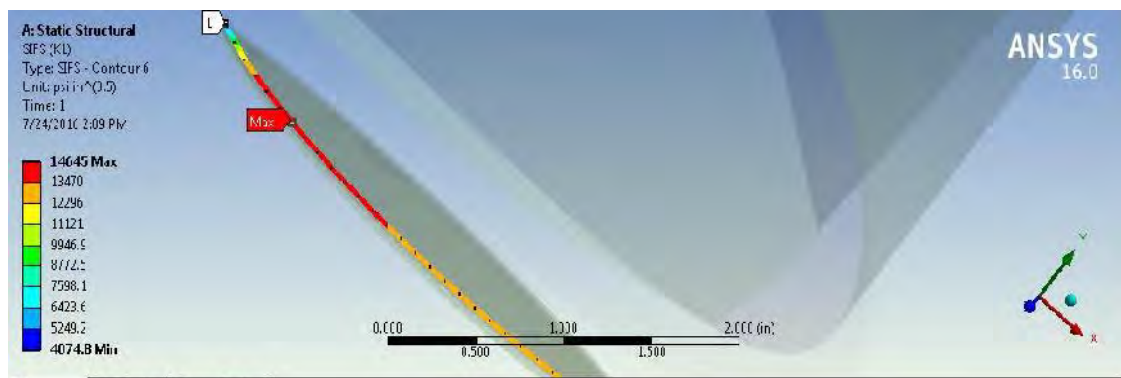
- $a_{\text{average}} = 6.75$



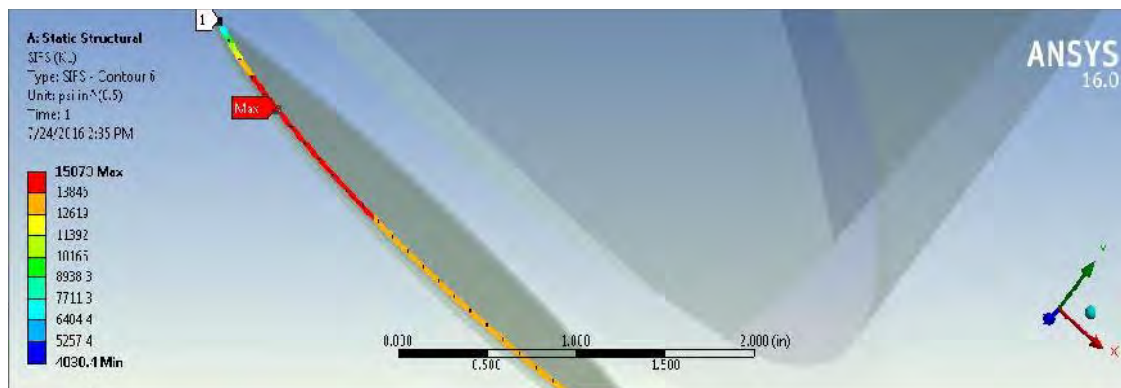
- $a_{\text{average}} = 7.25$



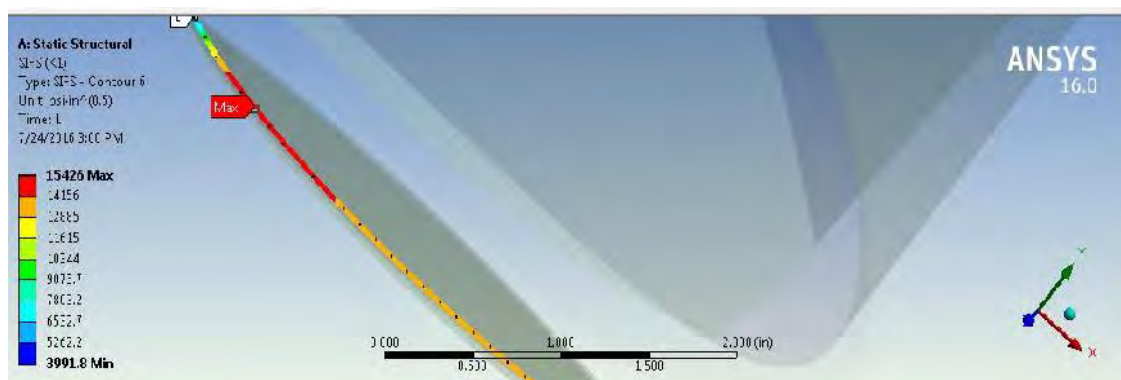
- $a_{\text{average}} = 7.75$



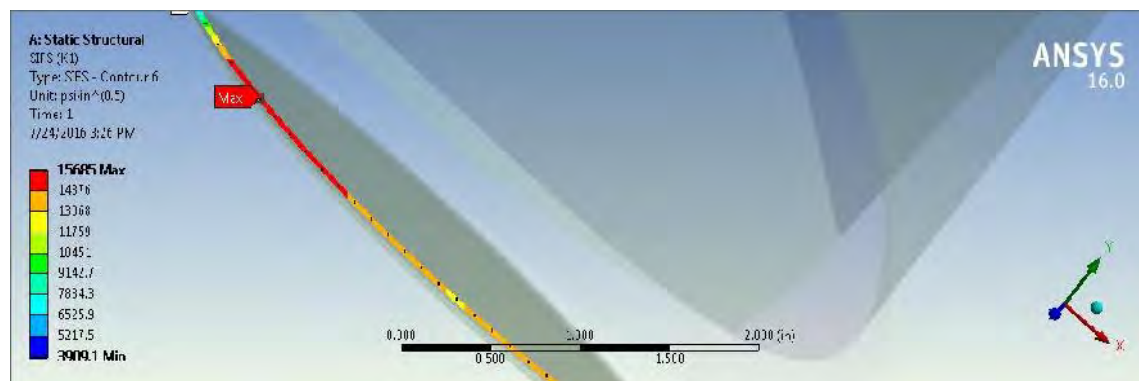
- $a_{\text{average}} = 8.25$



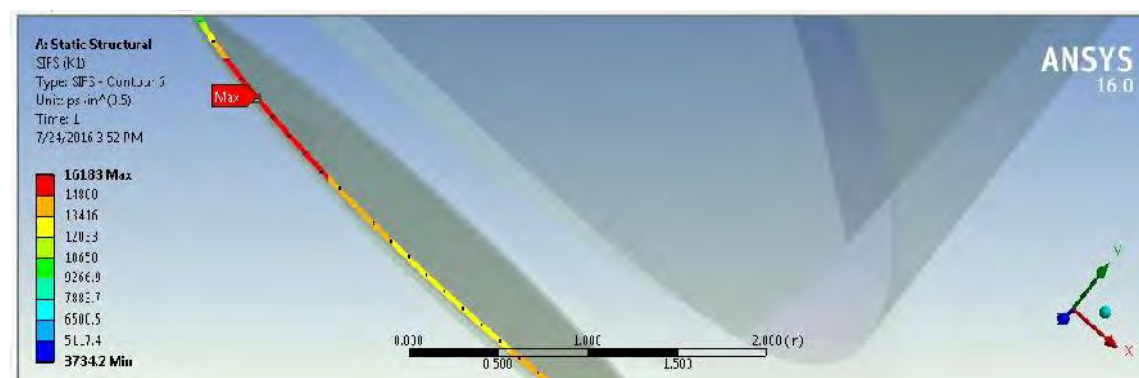
- $a_{\text{average}} = 8.75$



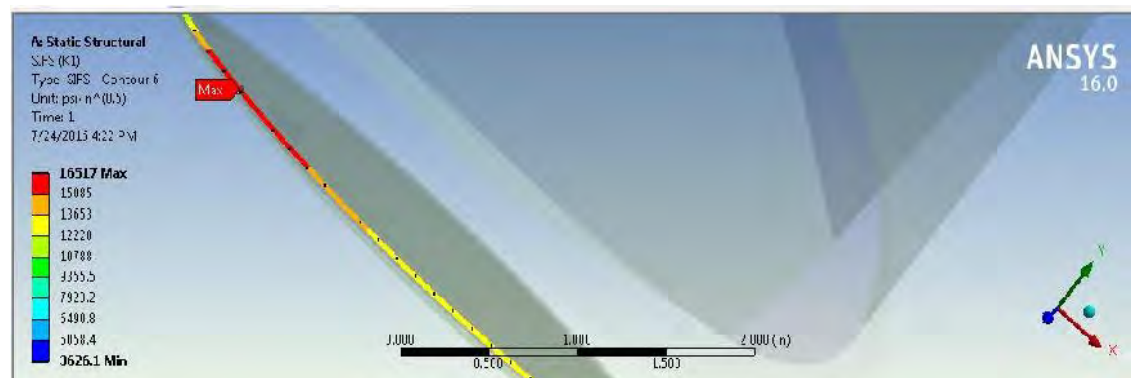
- $a_{\text{average}} = 9.25$



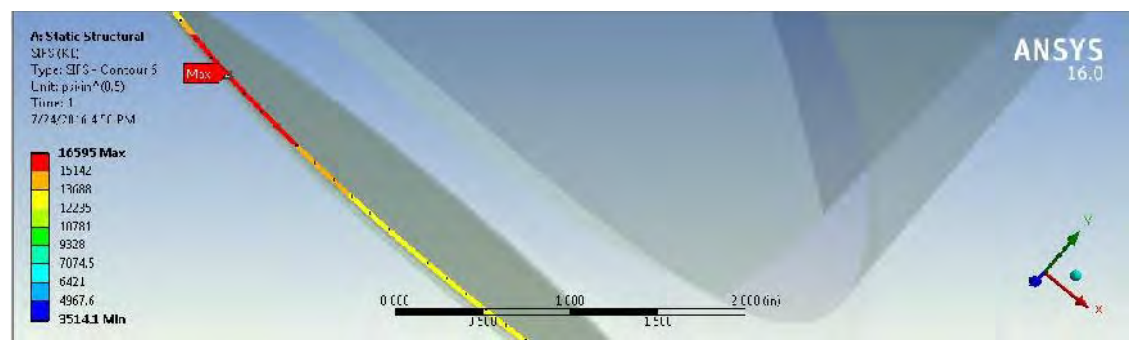
- $a_{\text{average}} = 9.75$



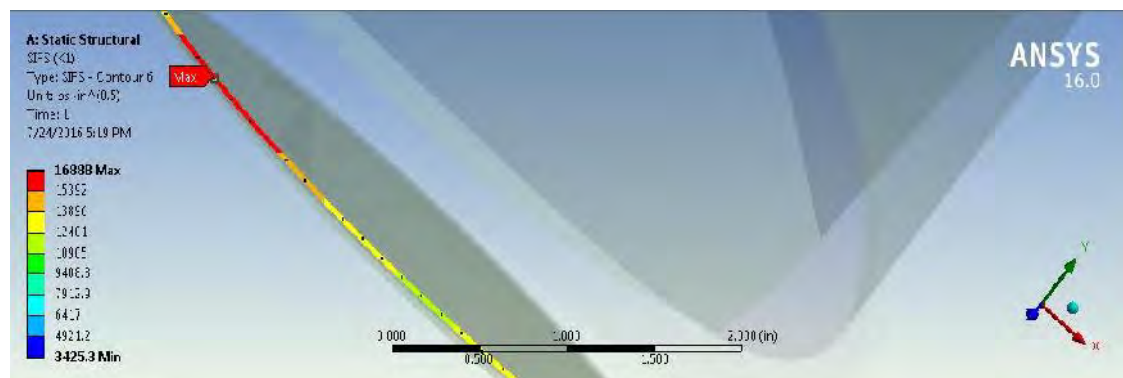
- $a_{\text{average}} = 10.25$



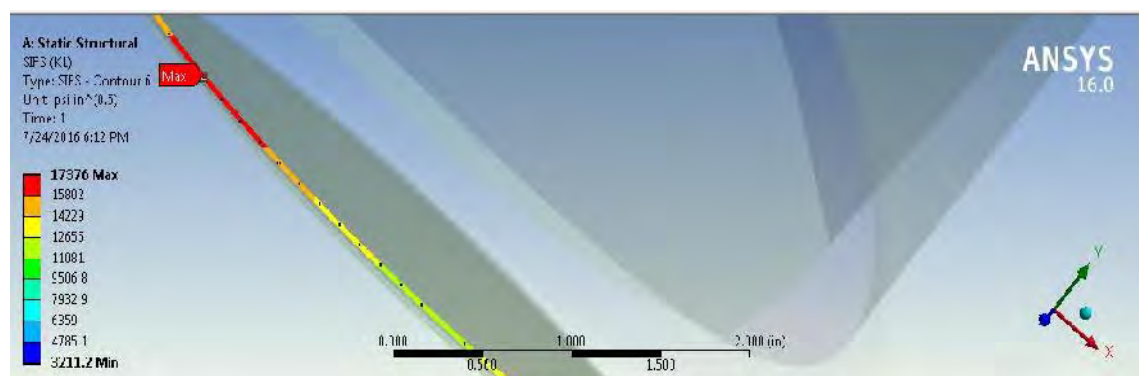
- $a_{\text{average}} = 10.75$



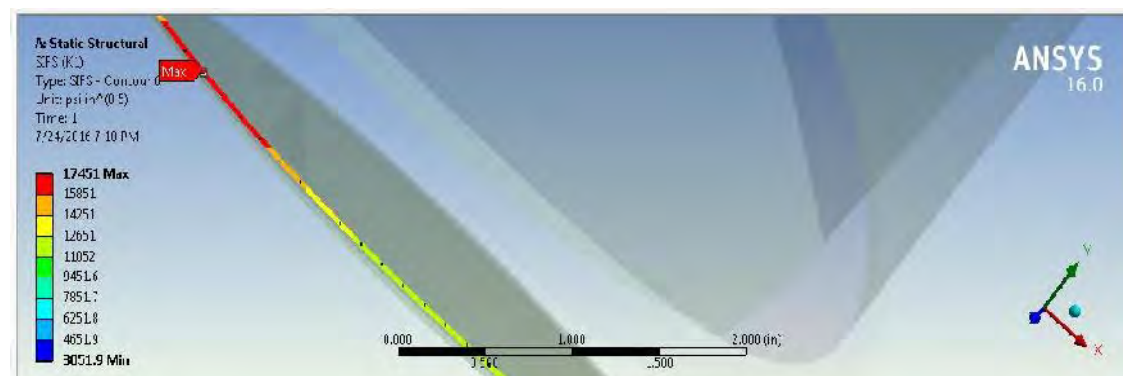
- $a_{\text{average}} = 11.25$



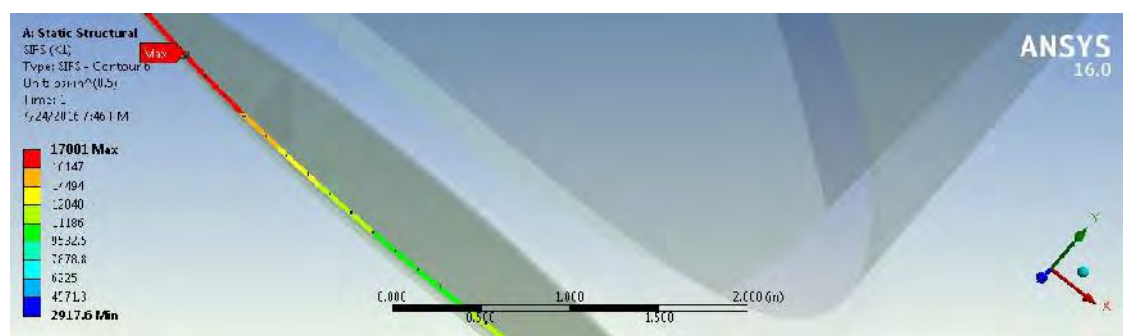
- $a_{\text{average}} = 11.75$



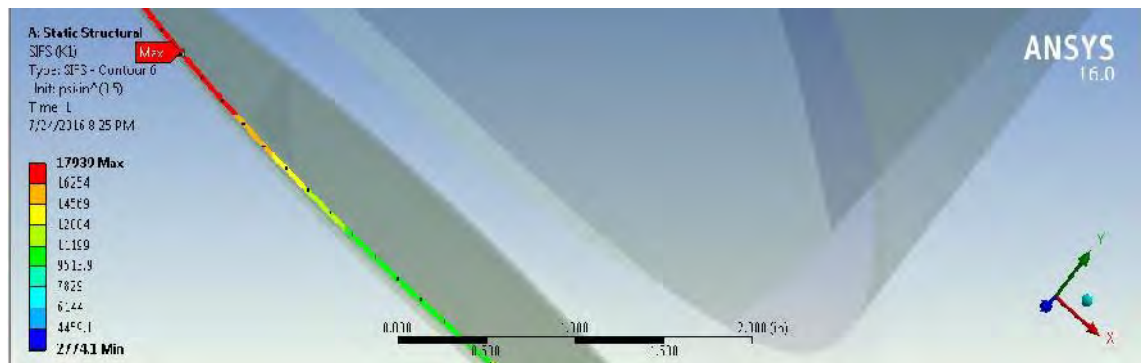
- $a_{\text{average}} = 12.25$



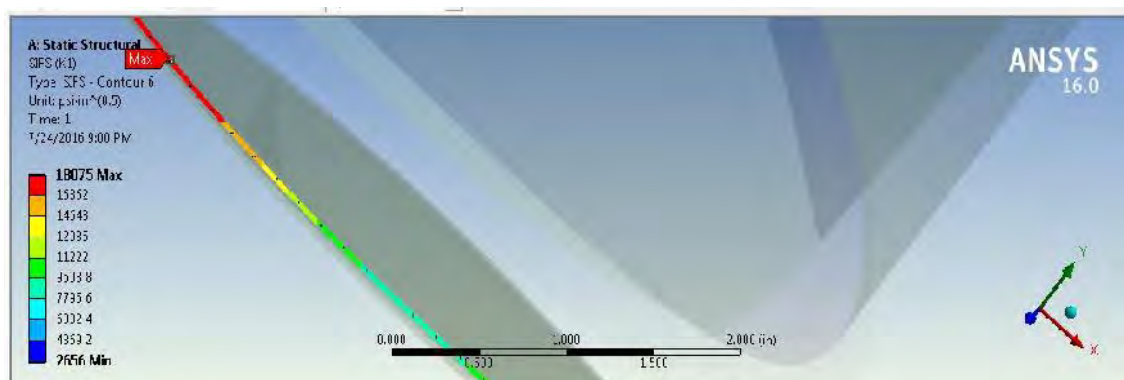
- $a_{\text{average}} = 12.75$



- $a_{\text{average}} = 13.25$



- $a_{\text{average}} = 13.75$



BAB 5

KESIMPULAN & SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari perhitungan dan pembahasan yang telah dilakukan pada BAB IV maka dapat ditarik beberapa kesimpulan yang juga akan menjawab permasalahan yang ada pada penelitian Tugas Akhir. Berikut ini adalah kesimpulan yang dapat dirangkum dari penelitian ini:

- 1) Hasil perhitungan umur kelelahan *tubular joint* tanpa retak menggunakan metode cumulative damage pada member 602L – 603L bernilai 196 tahun dengan jumlah siklus kelelahan $2.05E+09$ cycle
- 2) Hasil perhitungan umur kelelahan *tubular joint* dengan variasi retak semi elip menggunakan mekanika kepecahan secara analytical pada member 602L-603L bernilai $8.16 E+08$ cycle atau 78 tahun dan secara numerik bernilai $9.E+08$ cycle atau 83 tahun dengan selisih sebesar 7 %
- 3) Dari perbandingan hasil perhitungan umur kelelahan, dapat disimpulkan bahwa dengan adanya retak mengakibatkan umur kelelahan berkurang signifikan. Pada analisa ini umur kelelahan berkurang $6.E+7$ cycle atau 113 tahun

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian lebih lanjut mengenai Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

- 1) Menggunakan seluruh data sebaran gelombang.
- 2) Dianjurkan analisis selanjutnya menggunakan model retak selain semi elip untuk lebih mengakuratkan hasil mekanika kepecahan.
- 3) Dianjurkan untuk menambah mode SIF dari mode I opening mode menjadi mode II sliding mode dan mode III tearing mode.
- 4) Dianjurkan untuk pembebanan dilakukan pada kondisi badai

DAFTAR PUSTAKA

- A.G. Madhava Rao, D.S. Ramachandra Murthy and S. Seetharaman, 1994. **Fatigue Behaviour Of Welded Steel Offshore Tubular Joints**. *Journal Of Structural Engineering Research Centre, Madras, India*
- Jaime Dominguez, 1994. **Fatigue Crack Growth Under Variable Amplitude Loading**. Department of Mechanical Engineering, ETSII, University of Sevilla, Avda Reina Mercedes s/n, E-41012 Sevilla, Spain
- Hakim. Abi L, 2012. **Analisa Umur Kelelahan Sambungan Kaki Jack-Up Dengan Mudmat Pada Maleo Mopu Dengan Pendekatan Fracture**. *Jurnal TEKNIK ITS Vol 1, Indonesia*
- Stanzl St, 1977. **High Frequency Of Metal Crack Initiation And Propagation**. *Journal Of Advances in Research on Streng and Fracture of Material, Canada*
- Barson,J.M.,1987. **Fracture And Fatigue Control In Structures**, Prentice-Hall,Inc,Englewood,New Jersey 07632
- Anderson, T.L.1991 **Fracture Mechanic Fundamentals And Application**.Department of Mechanical Engineering Texas
- PT.TOTAL E&P INDONESIA,2014. **Service Life Extension Report Fs Platform No** dokumen: ID-BKP-SOME-10550590008
- API RP 2A.(2000).”**Recommended Practice For Planning, Designing &Constructing Fixed Offshore Platforms – Working Stress Design**, 21th Edition, American Petroleum Institute



Rizky Wahyu Satria dilahirkan di Malang pada tanggal 27 Agustus 1994. Penulis merupakan anak ketiga dari 3 bersaudara dari pasangan Bapak Sri Wahyata dan Ibu Rachmi Sulistyarini. Penulis menempuh pendidikan dasar di MIN MalangI, dilanjutkan di SMPN 3 Malang, SMAN 1 Malang, dan berkuliah di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Dalam dunia kamps, penulis merupakan mahasiswa yang kreatif dan produktif dalam berbagai kegiatan. Penulis aktif diberbagai kegiatan dan dan organisasi. Beberapa pelatihan manajerial maupun ilmu kelautan pernah diikuti penulis, diantaranya adalah LKK Pra-TD, LKMM TD, Pendamping Keilmiah FTK, dan beberapa pelatihan *software* yang digunakan dalam perkuliahan. Pada organisasi HIMATEKLA penulis menjadi staf RISTEK pada tahun kedua dan dipercaya menjadi Kepala Divisi Keilmiah Departemen Riset dan Teknologi selama kepengurusan tahun ketiga. Penulis juga masuk ke dunia karya tulis ilmiah yakni Program Kreativitas Mahasiswa (PKM) yang mengantarkan penulis hingga didanai oleh DIKTI sebanyak 2 kali. Dalam perjalanan untuk kerja prakteknya penulis telah menyelesaikannya di PT. RINA Batam. Penulis juga mengantongi sertifikat selam A1 CMAS. Maka dari itulah berkat pengalaman-pengalaman yang diperoleh penulis dari perkuliahan dan pengalaman proyek, penulis mampu menyusun buku tugas akhir ini dengan kelancaran dan kemudahan. Pesan dari penulis adalah ilmu memang bermanfaat akan tetapi kebermanfaatannya akan muncul ketika disebarluaskan kepada orang lain.

Kontak dengan penulis dapat menghubungi:

HP : 082413963674

Email : rizkysatria2708@gmail.com